
EX LIBRIS
THE
CHEMISTS
CLUB
N.Y.
HMT





GRUNDZÜGE

DER

ALLGEMEINEN MIKROSKOPIE.

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

GRUNDZÜGE

DER

ALLGEMEINEN MIKROSKOPIE

VON

DR. LEOPOLD DIPPEL,
ordentlichem Professor der Botanik in Darmstadt.

MIT 245 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN
UND EINER TAFEL.

BRAUNSCHWEIG,
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.
1885.

VORREDE.

Aus verschiedenen Kreisen laut gewordene Wünsche, eine kürzere, allgemein verständliche, aber doch zu wissenschaftlichem Gebrauche geeignete Darstellung der allgemeinen Mikroskopie in Händen zu haben, gaben die Veranlassung zur Abfassung des vorliegenden Buches. Es galt vor Allem, die theoretischen Abschnitte auf das möglich geringste Maass zu beschränken, ohne das Verständniss der neuen Theorie des Mikroskopes und der mikroskopischen Bilderzeugung, welche heutzutage Niemandem, welcher das Mikroskop gebraucht, mehr fremd sein dürfen, zu erschweren.

Die mathematischen Entwickelungen sind umgangen, aber deren Resultate mussten doch in Form der Endgleichungen gegeben werden, neben denen, für den die mathematische Form weniger liebenden, die bündige wörtliche Erklärung hergeht. Auch die praktischen Abschnitte haben eine Zusammenfassung erfahren, ohne für die weiteren Kreise der Mikroskopiker und Freunde der Mikroskopie Nothwendiges zu unterdrücken. Natürlich lässt sich bei dem gegenwärtigen Stande der allgemeinen Mikroskopie das Nothwendige aus Theorie und Praxis — ausser etwa in einem kurzen Abrisse als Wegweiser bei Vorträgen über unseren Wissenszweig — nicht auf wenige Bogen zusammendrängen, wie das in manchen kleinen Compilationen geschehen ist und geschieht; aber Verlagshandlung und Verfasser haben sich bemüht, durch Anordnung des Stoffes und sparsame Einrichtung des Druckes den Raum möglichst einzuengen.

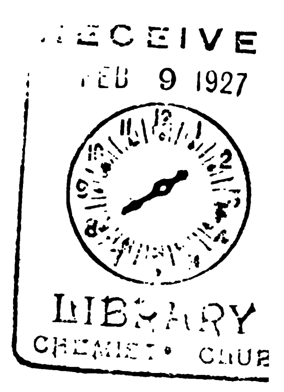
Während in dem Handbuche der rein wissenschaftliche und logische Gesichtspunkt für die Eintheilung des Werkes maassgebend war, fand in den Grundzügen mehr der praktische Gesichtspunkt Rücksicht, der darauf hinwies, gewisse, in jenem verschiedenen Büchern und Abtheilungen zugewiesene Darlegungen zu

einem Ganzen zu verschmelzen. So finden sich die Lehren des ersten und zweiten Buches aus dem Handbuche in dem ersten Abschnitte: „Theorie und Einrichtung des zusammengesetzten Mikroskopes“ vereinigt, während die der Abschnitte IV. bis VI. des ersteren an geeigneter Stelle in dem dritten Capitel (Methode der mikroskopischen Beobachtung) des dritten Abschnittes eingefügt erscheinen.

Verleger wie Verfasser haben das Ihre gethan, um ein für die weitesten Kreise als Führer dienendes Werk zu schaffen, und so dürfen sie sich bei der so ehrenvollen hohen Anerkennung, welche das Handbuch sich bereits errungen, wohl der Hoffnung hingeben, dass auch die Grundzüge ihrem Zwecke in vollem Umfange zu dienen vermögen und freundliche Aufnahme finden werden.

Darmstadt, im November 1884.

Dr. Leopold Dippel.



INHALTSVERZEICHNISS.

Erster Abschnitt.

Theorie und Einrichtung des zusammengesetzten Mikroskopes.

[1]) Hier stehen im Texte irrthümlich Nr. 3. und 4.

Zweiter Abschnitt.

Hülfsmittel zur mikroskopischen Beobachtung.

Dritter Abschnitt.

Gebrauch des Mikroskopes.

Erster Abschnitt.

Theorie und Einrichtung des zusammengesetzten Mikroskopes.

Erstes Capitel.

Geometrische (dioptrische) Abbildung.

1. Allgemeine Abbildungsgesetze.

1 Die dioptrischen Abbildungsvorgänge in dem einfachen wie in dem zusammengesetzten Mikroskope sind eine nothwendige Folge des geradlinigen Verlaufes der Lichtstrahlen und einiger die Art ihrer Ablenkung beim Durchgange durch brechende Kugelflächen bestimmenden Gesetze, deren Gültigkeit durch folgende Voraussetzungen bedingt ist.

1. Die Kugelflächen sind centrirt, d. h. es existirt eine Centrale (optische Achse), auf welcher ihre Scheitel- und Krümmungsmittelpunkte hinter einander liegen.

2. Die Einfallswinkel sind so klein, dass die Lichtstrahlen nahezu senkrecht auf die Kugelflächen treffen.

3. Die Abstände der leuchtenden Punkte von der Achse, wie die Winkel, unter welchen die Lichtstrahlen die letztere schneiden, sind sehr klein, so dass man für deren *Sinus* sowohl sie selbst, resp. ihre Bögen, als ihre *Tangenten* setzen und den Fusspunkt der von dem Einfallspunkte auf die Achse gezogenen Senkrechten (Einfallshöhe) als mit dem Scheitelpunkte der brechenden Fläche zusammenfallend betrachten kann.

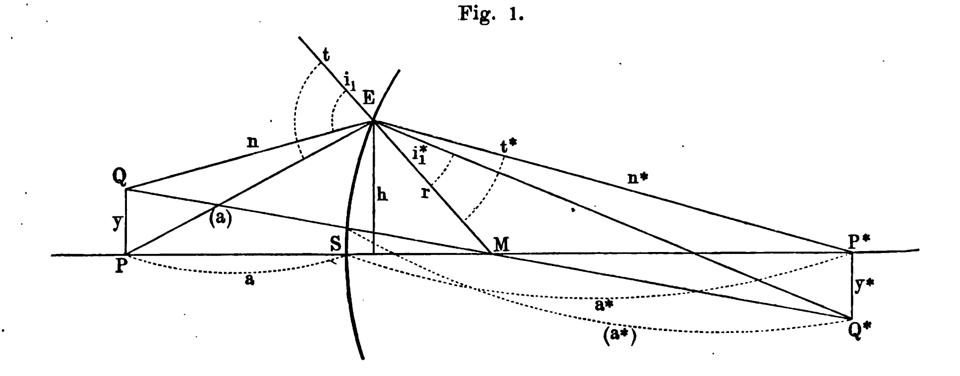
2 Verfolgen wir den Weg, welchen je ein von einem Punkte P in der Achse und ein von einem in kleinem Abstande von der Achse gelegenen Punkte Q ausfahrender Lichtstrahl (Fig. 1 a. f. S.) nach der Brechung an einer einzigen Kugelfläche (welche als Trennungsfläche zweier hinter

einander liegender, verschieden dichter Medien, des „vorderen“ und „hinteren“ Mediums zu betrachten ist) einschlägt, so ergiebt sich unter Berücksichtigung dessen, dass Lichtstrahl und Einfallsloth stets in derselben, d. h. in der Einfallsebene liegen und das Verhältniss zwischen dem Einfalls- und Brechungswinkel durch die Gleichung

$$\frac{\sin i^*}{\sin i} = \frac{n}{n^*}$$

gegeben ist, aus einer einfachen elementar-mathematischen Entwickelung, dass für die den Eintrittsstrahlen PE und QE zugeordneten gebrochenen Strahlen EP^* und EQ^* die Entfernung ihrer Achsenschnitte, d. h. der Punkte P^* und Q^* von dem Scheitel der brechenden Fläche einzig und allein von den Grössen n, n^*, a und r, d. h. von den Brechungsindices des vorderen und hinteren Mediums, der Entfernung des leuchtenden Punktes von dem Scheitel der brechenden Kugelfläche und dem Krümmungshalbmesser abhängig sind. Da diese Grössen aber für alle von

Fig. 1.



den Punkten P und Q ausgehenden Eintrittsstrahlen dieselben bleiben, unter welchen Winkeln letztere auch die Achse schneiden, oder in welchem Abstande von der Achse $= h$ sie auch die brechende Kugelfläche treffen mögen, so werden die sämmtlichen zugehörigen Austrittsstrahlen die Achse oder den an deren Stelle tretenden Centralstrahl (QMQ^*) in der gleichen Entfernung von dem Scheitel, d. h. in denselben Punkten P^* und Q^* schneiden.

Ein von einem in der Achse oder in einem kleinen Abstande ausserhalb der Achse gelegenen Punkte, im vorderen Medium ausfahrendes Strahlenbüschel wird also nach der Brechung an der Grenze des hinteren Mediums wieder in der Achse oder in dem betreffenden Centralstrahle homocentrisch werden. P^* und Q^* heissen nun die Bildpunkte der leuchtenden oder Objectpunkte P und Q, und P und P^* wie Q und Q^* werden als einander zugeordnete oder conjugirte Punkte bezeichnet. Das vordere Medium kann man sonach den Objectraum, das hintere

den Bildraum nennen und obiges Ergebniss so aussprechen: Homocentrische Lichtbüschel des Objectraumes finden nach der Brechung ihre homocentrische Vereinigung in dem Bildraume.

Legt man durch den Punkt Q (Fig. 1) und ebenso durch den ihm zugeordneten Punkt Q^* zur optischen Achse senkrechte Querschnitte des Object- und Bildraumes QP und Q^*P^*, so sind diese zunächst unter sich parallel. Weiter ergiebt sich, dass sämmtliche auf dem ersten Querschnitte liegende Objectpunkte ihre Bildpunkte in dem zweiten Querschnitte haben und dass, wenn wir den Brechungsindex je des Bild- und Objectraumes mit n und n^*, die Entfernungen der Punkte P und P^* von dem Scheitel der brechenden Kugelfläche mit a und a^* bezeichnen: 3

$$\frac{y^*}{y} = \frac{n}{n^*} \cdot \frac{a^*}{a}$$

und wenn wir die Constante $\frac{n}{n^*} \cdot \frac{a^*}{a} = N$ setzen:

$$\frac{y^*}{y} = N$$

Damit sind aber zwei Gesetze gegeben, deren Gültigkeit sich auch nachweisen lässt für solche ausserhalb der Achse gelegenen Strahlenbüschel, deren Hauptstrahlen nicht mehr durch den Mittelpunkt der Kugelfläche gehen, sondern sich in einem beliebigen anderen Punkte kreuzen. Diese Gesetze heissen:

1. Zur Achse senkrechte Querschnitte des Objectraumes werden stets als zu diesen parallele, d. h. zur optischen Achse senkrechte Querschnitte des Bildraumes abgebildet. Beide sind einander zugeordnete (conjugirte) Querschnitte, von denen der erstere als **Objectebene,** der andere als **Bildebene** bezeichnet werden kann; und

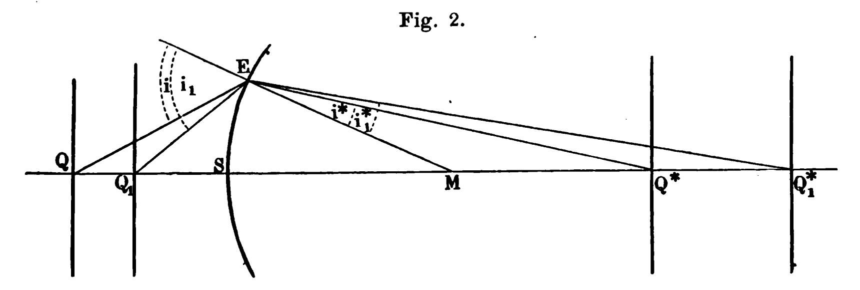
2. Innerhalb eines Paares zugeordneter Querschnitte sind die Achsenabstände zweier zugeordneter Punkte proportional, d. h. es besteht für jedes Paar derselben ein bestimmtes Verhältniss der linearen Vergrösserung.

Bewegt sich ein Querschnitt im Objectraume in bestimmter ununterbrochener Aufeinanderfolge auf der Achse, so muss gleichzeitig auch eine Bewegung des zugeordneten Querschnittes im Bildraume und zwar in entsprechender Aufeinanderfolge stattfinden, da, wenn die Objectebene auf der Achse von Q nach Q_1 rückt, der Einfallswinkel der von diesen Punkten aus in E auf die brechende Fläche treffenden Strahlen von i zu i_1 wächst, also auch der Brechungswinkel von i^* zu i_1^* wachsen und aus geometrischen Gründen $MQ_1^* > MQ^*$ werden, d. h. Q^* auf der Achse in der gleichen Folge wie Q zu Q_1 nach Q_1^* fortrücken muss. Da dasselbe sich auch für die Lage der Bilder auf der anderen Seite, 4

wie für den Fall, dass die brechende Fläche ihre concave Seite der Objectebene zukehrt, nachweisen lässt, so leiten wir daraus ab:

3. Aufeinander folgende Querschnitte im Objectraume (im vorderen Medium) werden in derselben Ordnung der Aufeinanderfolge — niemals in umgekehrter Folge — abgebildet, so lange die Aufeinanderfolge eine stetige ist.

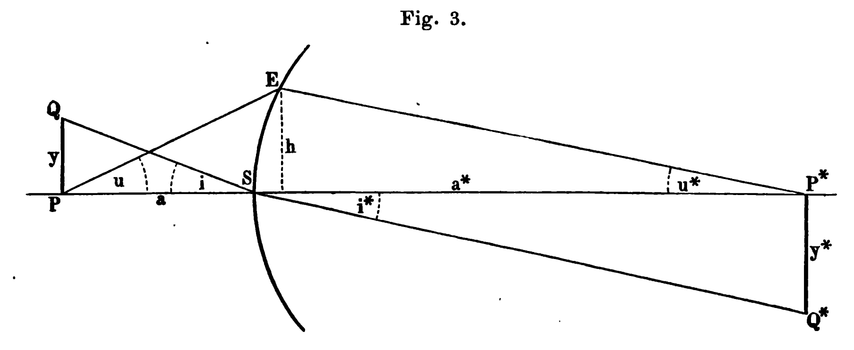
Fig. 2.



5 Das oben gegebene Verhältniss der linearen Vergrösserung steht auch noch in Beziehung zu anderen für unsere Betrachtungen wichtigen Grössen.

Sind nämlich QP und Q^*P^*, Fig. 3, zwei zugeordnete Querschnitte PE, und EP^* ein Paar zugeordnete Strahlen mit den Convergenzwinkeln u und u^*, QS ein nach dem Scheitelpunkte zielender, SQ^* der zugeord-

Fig. 3.



nete gebrochene Strahl, a und a^* die Abstände der Object- und Bildebene, h die Einfallshöhe des Strahles PE, so lässt sich nachweisen, dass

$$\frac{y^*}{y} \cdot \frac{tg\, u^*}{tg\, u} = \frac{n}{n^*}$$

ist, und diese Gleichung besagt:

4. Das Product aus dem Verhältnisse der linearen Vergrösserung für jedes Paar von zugeordneten Querschnitten und dem Verhältnisse der Convergenzwinkel zugeordneter Strahlenbüschel ist gleich dem Verhältnisse

der Brechungsexponenten der hinter einander liegenden Medien.

6 Die in dem Voranstehenden für nur eine brechende Kugelfläche entwickelten vier Abbildungsgesetze lassen sich nun leicht und ohne Weiteres auf ein System centrirter Kugelflächen übertragen und als auch für ein solches gültig erweisen.

Die vor und nach der Brechung an der ersten Kugelfläche homocentrischen Strahlenbüschel können nämlich bei ihrem Auftreffen auf die zweite Kugelfläche als Theile solcher Büschel aufgefasst werden, welche in ihren Mittelstrahlen durch den Krümmungsmittelpunkt dieser Fläche geführt werden, und so fort für jede weiter hinzutretende Fläche. Demgemäss bleibt für ein System brechender Flächen der Parallelismus der zur Achse senkrechten Bildebenen, sowie die Proportionalität der Achsenabstände, d. h. das Verhältniss der linearen Vergrösserung in jeder derselben von Brechung zu Brechung bestehen. In gleicher Weise muss sich die Gleichsinnigkeit der Aufeinanderfolge von Object- und Bildebene von Brechung zu Brechung erhalten.

Das vierte Gesetz über die Beziehung zwischen dem Verhältnisse der linearen Vergrösserung und dem Verhältnisse der Convergenzwinkel zugeordneter Strahlenbüschel kann gleichfalls auf beliebig viele Brechungen ausgedehnt werden, indem sich nachweisen lässt, dass die oben abgeleitete Beziehung

$$\frac{y^*}{y} \cdot \frac{tg\, u^*}{tg\, u} = \frac{n}{n^*} \quad \text{oder} \quad \frac{tg\, u^*}{tg\, u} = \frac{1}{N} \cdot \frac{n}{n^*}$$

bestehen bleibt.

---

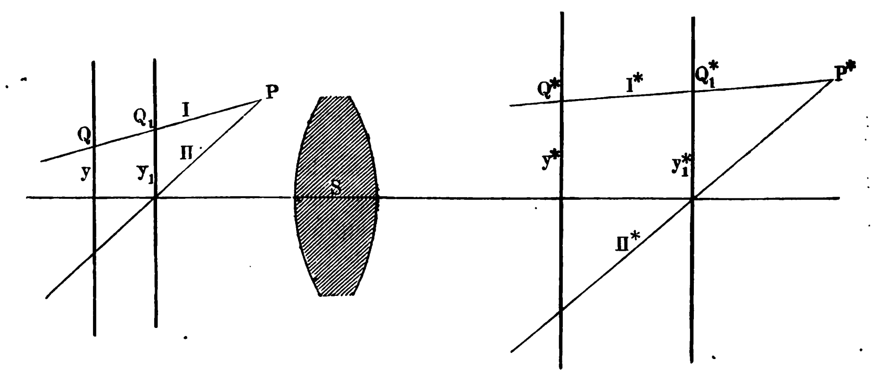
7 Unter Zugrundelegung der vier oben entwickelten Gesetze lassen sich nach der von Professor Abbe erdachten, ebenso leicht verständlichen als übersichtlichen, von den üblichen Methoden der Behandlung optischer Systeme abweichenden Methode alle Abbildungsvorgänge durch Linsen und Linsensysteme in allgemein gültiger Weise als mathematisch nothwendige Folge der Geradlinigkeit der Lichtstrahlen ableiten, ohne dass dabei auf noch anderweitige Gesetze der Lichtbrechung oder auf die Wirkungsweise kugelförmiger Flächen weitere Rücksicht genommen zu werden braucht [1]).

Ist S, Fig. 5 (a. f. S.), irgend ein Linsensystem und es wird der Querschnitt Q mit einem bestimmten Vergrösserungsverhältnisse $\frac{y^*}{y} = N$ in

[1]) Die Idee einer rein geometrischen Bestimmbarkeit aller allgemeinen Gesetze der Linsensysteme rührt von Möbius her.

Q^* und gleichzeitig der Querschnitt Q_1 mit einem anderen bestimmten Vergrösserungsverhältnisse $\frac{y_1^*}{y_1} = N_1$ in Q_1^* abgebildet, so ist jeder eintretende Strahl I durch einen Punkt in Q und einen zweiten Punkt in Q_1, also der zugeordnete Strahl I^* durch die zugeordneten Punkte in Q^* und Q_1^* bestimmt. Nun kann jeder beliebig gelegene Punkt P im Objectraume angesehen werden als der Durchschnittspunkt von zwei solchen Strahlen I und II und es muss sich dessen zugeordneter Punkt im Bildraume ergeben in dem Durchschnittspunkt P^* der zugeordneten Strahlen I^* und II^*. Somit ist die ganze Abbildung bestimmt, sobald die Abbildung von nur je zwei Querschnitten im Object- und Bildraume

Fig. 4.



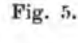
bestimmt ist und es lässt sich dieselbe ebenso wohl durch Construction als durch Rechnung ableiten.

8 Seien für irgend ein brechendes System S, Fig. 5, die Lage von Q, Q_1; Q^*, Q_1^* sowie die entsprechenden Vergrösserungsverhältnisse N und N_1 gegeben und es schneide ein parallel zur Achse eintretender Strahl die Querschnitte Q und Q_1 in der gleichen Höhe y, so muss derselbe die Querschnitte Q^* und Q_1^* schneiden in den Höhen $y^* = N . y$ und $y_1^* = N_1 y$.

Der Durchschnittspunkt des hierdurch bestimmten Austrittsstrahles mit der Achse ist demgemäss bestimmt durch den Abstand von F^* zu $Q^* = x^*$.

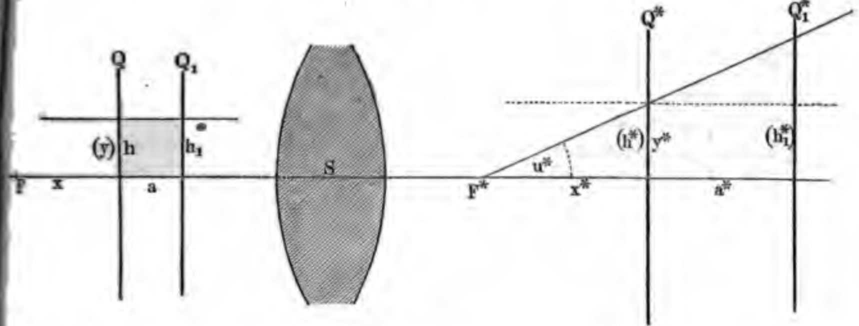
Dasselbe gilt für einen Strahl, welcher in der Höhe y^* in dem Bildraume parallel zur Achse verläuft. Derselbe schneidet die Querschnitte Q und Q_1 in den Höhen $y = \frac{y^*}{N}$ und $y_1 = \frac{y_1^*}{N_1}$ und es ist der Achsenschnitt bestimmt durch die Entfernung von F zu $Q = x$.

Da sich nun beweisen lässt, dass x^* von y und x von y^* unabhängig bleibt, also F und F^* immer dieselben Achsenpunkte bilden würden, in ›lcher Höhe auch die Parallelstrahlen die betreffenden Querschnitte



schneiden, so ergiebt sich die Existenz von Vereinigungspunkten der aus dem Bild- oder dem Objectraume parallel zur Achse in das System ein-

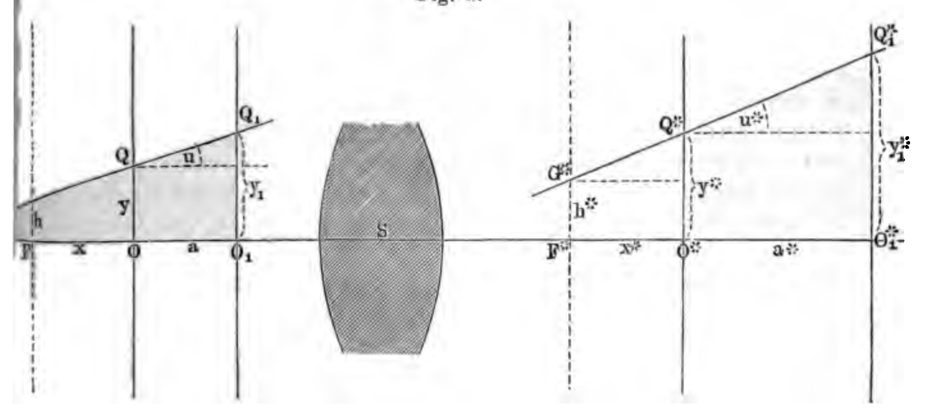
Fig. 5.



tretenden Strahlencylinder, d. h. **die Existenz von Brennpunkten** F **und** F^* **auf der Achse** und es erscheinen deren Oerter auf der letzteren bestimmt [1]).

Stellt nun weiter $Q\,Q_1$, Fig. 6, irgend einen nicht parallelen Strahl vor, welcher im Objectraume die Achse unter dem Winkel u **9**

Fig. 6.



schneidet, während der zugeordnete Strahl $Q^*\,Q_1{}^*$ in dem Bildraume einen Winkel u^* mit der Achse bildet, so lassen sich, indem man je von

[1]) Dieser Schluss, sowie die sämmtlichen folgenden Entwickelungen setzen allerdings stillschweigend voraus, dass in dem betrachteten Systeme die linearen Vergrösserungen N und N_1 für zwei Querschnitte immer ungleich sind, denn wenn diese gleich würden, würden x^* und x unbestimmt und es existirten keine Brennpunkte mehr.

den Bestimmungsstücken des einen oder des anderen Strahles ausgeht, mittelst Rechnung die Schnitthöhen h und h^* bestimmen, welche diese beiden Strahlen in der durch die beiden voranstehend bestimmten Punkte F und F^* gelegten, zur Achse senkrechten Ebene ergeben.

Man erhält daraus:

$$1.\quad h^* = \frac{N \cdot N_1}{N - N_1} \cdot a \cdot tg\, u \quad \text{oder} \quad \frac{h^*}{tg\, u} = \frac{N \cdot N_1}{N - N_1} \cdot a$$

und

$$2.\quad h = \frac{a^*}{N_1 - N} \cdot tg\, u^* \quad \text{oder} \quad \frac{h}{tg\, u^*} = \frac{a^*}{N_1 - N}$$

Da nun die für die beiden Quotienten $\frac{h^*}{tg\, u}$ und $\frac{h}{tg\, u^*}$ erhaltenen Ausdrücke nur unveränderliche Grössen, d. h. die Vergrösserungsverhältnisse und die Abstände a und a^* der betreffenden Querschnitte Q und Q_1, Q^* und $Q_1{}^*$ enthalten, so sind diese Quotienten selbst für alle Strahlen dieselben und ihre Werthe können demnach benutzt werden, um — wie das Folgende zeigen wird — die Wirkungsweise des vorausgesetzten Systemes selbständig zu bestimmen. Zunächst ergeben die erhaltenen beiden Gleichungen als allgemeine Eigenschaft eines jeden optischen Systemes den Satz:

Für alle durch ein solches System hindurchtretende Strahlen besteht ein constantes Verhältniss: 1) zwischen der Schnitthöhe des im Objectraume verlaufenden Strahles in der durch den Brennpunkt F gelegten Ebene und dem Neigungswinkel des zugeordneten Strahles im Bildraume, und 2) zwischen der Schnitthöhe des Strahles im Bildraume in der durch den Brennpunkt F^* gelegten Ebene und dem Neigungswinkel des zugeordneten Strahles im Objectraume.

Aus diesem Satze lassen sich dann sofort zwei wichtige Folgesätze ableiten:

1. Da den obigen Gleichungen zufolge h^* nur von u, nicht auch von h abhängt, so wird die durch F^* gelegte Ebene von allen Strahlen, welche im Objectraume den Winkel u mit der Achse bilden, nach deren Uebertritt in den Bildraum in ein und demselben Abstande von der Achse, d. h. in ein und demselben Punkte (G^* Fig. 6) geschnitten und alle Strahlen, welche in dem Objectraume durch ein und denselben Punkt der Ebene F hindurchgehen, verlaufen im Bildraume unter demselben Winkel u^* zur Achse, stellen also daselbst ein parallelstrahliges Bündel dar. Demnach gewinnen die oben betrachteten durch die Punkte F und F^* gelegten Ebenen — die Brennebenen des optischen Systemes — die allgemeine Bedeutung, dass in ihnen alle Strahlen zur Ver-

inigung kommen, welche in dem anderen Medium als parallelstrahlige Bündel (Strahlencylinder) verlaufen, d. h. von unendlich entfernten Punkten dieses anderen Mediums ausgehen oder nach solchen hinzielen.

2. Die für jedes optische System sich ergebenden Zahlenwerthe für die voranstehenden Quotienten $\frac{h^*}{tg\,u}$ und $\frac{h}{tg\,u^*}$ bestimmen für dieses System das Verhältniss zwischen dem Neigungswinkel eines parallelstrahligen Bündels in dem einen Medium und dem Achsenabstand seines Vereinigungspunktes in der Brennebene des anderen Mediums. Insofern man nun den Neigungswinkel eines einfallenden Strahles ansehen kann als die (halbe) scheinbare Grösse eines unendlich entfernten Objectes, von dessen Endpunkten die fraglichen Strahlen ausgehen, und den Achsenabstand des Vereinigungspunktes in der Brennebene als die (halbe) lineare Grösse des Bildes von diesem Objecte, lassen sich jene Quotienten auch auslegen: als das Verhältniss zwischen der Tangente des halben Sehwinkels eines unendlich entfernten Objectes und der halben Bildgrösse desselben in der Brennebene des anderen Mediums.

3. Bei der grundlegenden Bedeutung der im Voranstehenden nachgewiesenen Constanten für die weitere Bestimmung der Abbildungsverhältnisse erscheint es gerechtfertigt, für ihre Werthe besondere Zeichen und Benennungen auszuführen. Wir setzen demgemäss

$$\frac{h^*}{tg\,u} = f \text{ und } \frac{h}{tg\,u^*} = f^*$$

und nennen diese Werthe die Brennweiten des optischen Systemes für den Objectraum und für den Bildraum, oder die vordere und hintere Brennweite. Diese Begriffe sind nun dem Vorausgehenden zufolge allgemein zu erklären:

Als die Verhältnisse zwischen der Schnitthöhe eines beliebigen, durch das optische System tretenden Strahles in einer der Brennebenen und dem Neigungswinkel des zugeordneten Strahles in dem anderen Medium und insbesondere, als das Verhältniss zwischen der halben Bildgrösse eines unendlich entfernten Objectes zur Tangente des halben Sehwinkels, unter welchem dieses Object im anderen Medium erscheint.

Gemäss der vorausgehend entwickelten Formeln und Begriffserklärungen sind die allgemeinen Gesetze jeder dioptrischen Abbildung enthalten in den beiden Grundgleichungen **10**

$$\text{I. } x x^* = f f^*$$

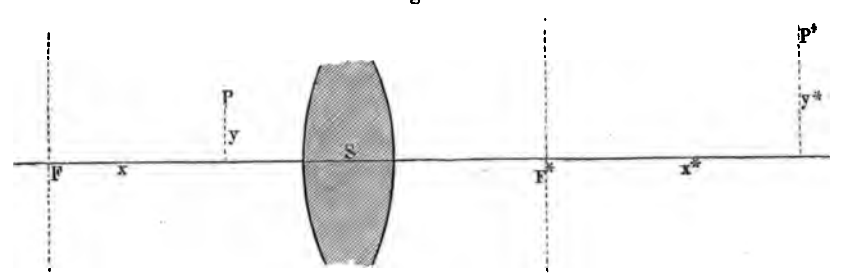
oder

$$x^* = \frac{f . f^*}{x} \text{ und}$$

$$\text{II. } \frac{y^*}{y} = \frac{f}{x} = \frac{x^*}{f^*}$$

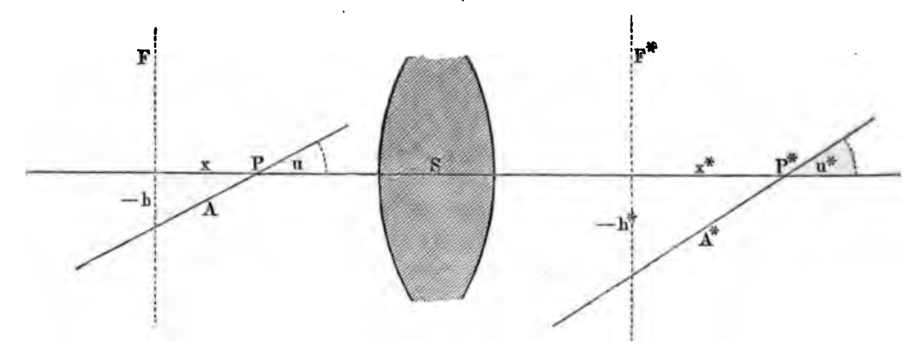
wobei die weitere Bestimmung des Abbildungsverhältnisses unmittelbar auf die als aus den Werthen von N und N_1 und a und a^* bestimmt gedachten Punkte F und F^* und die Werthe von f und f^* gegründet ist und die Abstände auf der Achse in jedem Medium von dem Orte der Brennebene, d. h. von dem Brennpunkte dieses Mediums gerechnet werden, und zwar positiv in der Richtung des auf der Achse laufenden Strahles, negativ in der entgegengesetzten Richtung.

Fig. 7.



Die Gleichung I. stellt die Beziehung dar zwischen den Abscissen zugeordneter (conjugirter) Punkte auf der Achse, oder zwischen den Oertern zugeordneter zur Achse senkrechter Ebenen, die Gleichung II. das Verhältniss der linearen Vergrösserung (Lateralvergrösserung) für jedes Paar zugeordneter Ebenen. Beide zusammen schliessen die vollständige Bestimmung der Abbildung ein, da die Coordinaten x^* und y^*

Fig. 8.



des Bildpunktes aus den Coordinaten x und y des Objectpunktes, Fig. 7, allgemeingültig abgeleitet werden können.

11 Aus den beiden Grundgleichungen folgen noch als in ihnen enthalten zwei wichtige Hülfssätze:

1. Das Convergenzverhältniss der zugeordneten Strahlen:

$$\frac{tg\,u^*}{tg\,u} = -\frac{x}{f^*} = -\frac{f}{x^*}$$

2. **Das Verhältniss unendlich kleiner Verschiebungen oder der Axialvergrösserung** (Tiefenvergrösserung) an zugeordneten Stellen der Achse[1]):

$$\frac{d^*}{d} = -\frac{x^*}{x} = -\frac{ff^*}{x^2}$$

wobei das negative Vorzeichen ausdrückt, dass x und x^* stets entgegengesetzt sein müssen, wenn die Verschiebungen gleichsinnig sind.

Durch Verbindung der Gleichungen III. und II. und IV. und II. erhält man noch **12**

$$\frac{tg\,u^*}{tg\,u} \times \frac{y^*}{y} = -\frac{f}{f^*} = \frac{n}{n^*}\ ^{2)}\ \text{(III. und II.)}$$

ferner

$$\frac{d^*}{d} \times \frac{y^*}{y} = -\frac{ff^*}{x^2} \cdot \frac{f}{x}\ \text{(IV. und II.)}$$

als unabhängige Beziehungen zwischen Convergenzverhältniss und Lateralvergrösserung und zwischen Axial- und Lateralvergrösserung.

Letztere Gleichung kann durch einfache Substitution übergeführt werden in:

$$\frac{d^*}{d} = \frac{n^*}{n} \cdot N^2$$

und es stellt dieses Resultat als eine allen optischen Systemen gemeinsame Eigenschaft fest, dass die Axialvergrösserung an jeder Stelle der Achse dem Quadrat der an derselben Stelle bestehenden Lateralvergrösserung (und ausserdem auch dem Verhältniss der Brechungsindices des vorderen und hinteren Mediums) proportional ist.

Die Oerter der Brennebenen bilden die einzigen, durch unmittelbare Beobachtung sicher zu ermittelnden Stellen der Achse; und das Verhältniss zwischen der trigonometrischen Tangente des Sehwinkels und **13**

---

[1]) Bei allen diesen und den folgenden Sätzen ist auf das Vorzeichen der Grössen y und y^*, h und h^*, u und u^* in derselben Weise Rücksicht zu nehmen, wie es in den Entwickelungen der analytischen Geometrie geschieht. Nachdem also eine Richtung — z. B. die Richtung nach oben — als die positive Richtung der y festgesetzt ist, muss jeder Abstand y und jede Schnitthöhe h als negative Grösse eingeführt werden, wenn die betreffende Abmessung von der Achse aus nach unten liegt. Im Anschlusse hieran muss ein Winkel u mit positivem Vorzeichen eingeführt werden, wenn die Drehung aus der positiven Richtung der x-Achse in die Richtung der betreffenden Geraden im Sinne des Ueberganges (von der $+\,x$-Achse) zur positiven y-Richtung geschieht und mit negativem Vorzeichen im anderen Falle.

[2]) Die Gleichung (III. und II.) enthält zugleich die später noch näher in Betracht kommende Beziehung

$$\frac{f}{f^*} = -\frac{n}{n^*}$$

der Bildgrösse eines unendlich entfernten Gegenstandes ist gleichfalls unmittelbar experimenteller Bestimmung zugänglich. Es schliessen sich somit die voranstehenden Entwickelungen ohne Weiteres und ohne Herbeiziehung ideeller Punkte und Ebenen an die beobachtbaren Elemente eines optischen Systemes an, und die Benutzung dieser Elemente zur Bestimmung der Abbildung führt zugleich auf die einfachsten Formen, in welchen sich die Gesetze der Abbildung überhaupt darstellen lassen. Auf der anderen Seite lassen sich aber auch aus ihnen die seit Gauss üblichen Begriffsbestimmungen der Brennweiten und Cardinalpunkte sowie die gewöhnlich gebrauchten Formeln über die Beziehungen zwischen den Coordinaten der Object- und Bildpunkte ableiten.

So ergiebt sich z. B. aus der Gleichung I. in einfacher Weise die von Helmholtz zuerst aufgestellte Gleichung zwischen den Abständen von einem zugeordneten Punkte zu einem anderen und daraufhin dann die

Fig. 9.

gebräuchliche Gleichung der Beziehung zwischen zwei zugeordneten Punkten der Achse, wenn diese durch ihre Abstände von den Hauptpunkten bestimmt sind in der Form:

$$\frac{f^*}{z^*} + \frac{f}{z} = -1$$

wobei auf der rechten Seite nur deshalb das negative Vorzeichen auftritt, weil bei der hier gebrauchten Bestimmung von f und f^* diese Grössen nicht die Abstände der Brennpunkte von den Hauptpunkten, sondern diejenigen der Hauptpunkte von den Brennpunkten bedeuten.

14 Sämmtliche voranstehende Sätze und Gleichungen ergeben sich als nothwendige Folgerungen der Eingangs unter 1. und 2. abgeleiteten Gesetze über die allgemeine Beschaffenheit der Abbildung mittelst irgend eines optischen Systemes, ohne Rücksicht auf die nähere Bestimmung dieser Beschaffenheit. Die letztere wird erst durch die unter 3. und 4. gewonnenen Gesetze aufgestellt. Berücksichtigen wir dieselben nun nachträglich, so ergeben sich folgende Sätze:

1. Bei allen rein dioptrischen Abbildungen müssen, so lange die obige Form der Gleichung I. festgehalten wird,

x und x^* stets entgegengesetzte Vorzeichen haben, d. h. die einander zugeordneten Punkte P und P^* müssen stets auf entgegengesetzten Seiten der betreffenden Brennebenen liegen, damit die Bewegung des Objectpunktes auf der Achse stets einer Bewegung des Bildpunktes in gleichem Sinne entspreche. Das Product ff^* muss also auch stets einen negativen Werth, d. h. f und f^* müssen entgegengesetzte Vorzeichen haben.

Eine eigenthümliche Unstetigkeit der Abbildung tritt in der Nähe **jeder Brennebene** ein: Wenn nämlich x von negativen Werthen durch **Null zu** positiven übergeht, d. h. wenn der Objectpunkt von der linken **Seite der** Brennebene auf die rechte übertritt, dann springt x^* von positiven Werthen durch Unendlich zu negativen Werthen über, d. h. der **Bildpunkt** rückt ins Unendliche auf der positiven Seite und kommt dann **wieder aus** dem Unendlichen auf der negativen Seite heran.

Nach dem unter 4. ausgesprochenen, für jede durch ein Linsensystem entstandene Abbildung gültigen Gesetze ist

$$\frac{tg\,u^* \cdot y^*}{tg\,u \cdot y} = \frac{n}{n^*}$$

ferner nach den auf S. 10 und 11 dargelegten allgemeinen Gesetzen:

$$\frac{y^*}{y} = \frac{f}{x} \text{ und } \frac{tg\,u^*}{tg\,u} = -\frac{x}{f^*}$$

daher die linke Seite der voranstehenden Gleichung $= -\frac{f}{f^*}$, also auch:

$$\frac{f}{f^*} = -\frac{n}{n^*} = \text{ oder } f^* = -\frac{n}{n^*} \cdot f$$

und daraus folgt:

2. Bei allen dioptrischen Abbildungen ist das Verhältniss der beiden Brennweiten gleich dem negativ genommenen Verhältniss aus den Brechungsexponenten der bezüglichen Medien.

Unter Berücksichtigung dieser besonderen, aus den Gesetzen der Lichtbrechung sich ergebenden Beziehung gehen die auf S. 10 und 11 mitgetheilten allgemeinen Abbildungsgesetze für die durch Linsensysteme erzeugten Abbildungen in die speciellere Form über:

$$x x^* = -\frac{n^*}{n} \cdot f^2$$

$$\frac{y^*}{y} = \frac{f}{x} = -\frac{n}{n^*} \cdot \frac{x^*}{f}$$

$$\frac{tg\,u^*}{tg\,u} = \frac{n}{n^*} \cdot \frac{x}{f} = -\frac{f}{x^*}$$

durch welche Gleichungen nun Alles von nur einer Brennweite (nämlich derjenigen für das vordere Medium geltenden) und von dem Ver-

hältnisse der beiden Brechungsindices vor und hinter dem Systeme abhängig gemacht ist.

15 Gemäss dieser näheren Bestimmung des allgemein möglichen Abbildungsverhältnisses lässt sich die ganze Mannigfaltigkeit dioptrischer Systeme auf zwei Classen zurückführen, deren Unterscheidung durch die Gleichung $\frac{y^*}{y} = \frac{f}{x}$ gegeben ist.

Die erste Classe bilden die collectiven Systeme mit positivem f. Bei ihnen entspricht positiven Werthen von x positive Vergrösserung und negativen Werthen von x negative Vergrösserung, d. h. der Objectraum vor der Brennebene F wird umgekehrt, der Objectraum hinter derselben aufrecht abgebildet.

Die zweite Classe umfasst die dispansiven Systeme, bei denen f negativ ist, wonach negativen Werthen von x positive Vergrösserung, positiven Werthen von x dagegen negative Vergrösserung entspricht.

16 Die geometrische Construction der von einem beliebigen Systeme brechender Kugelflächen erzeugten Bilder ergiebt sich leicht unter Berücksichtigung des soeben dargelegten Vergrösserungsgesetzes für collective und dispansive Systeme, wenn gegeben sind: der Ort des Objectes, die Lage der beiden Brennebenen und die Werthe sammt den Vorzeichen der beiden Brennweiten, d. h. die Quotienten:

$$f = \frac{h^*}{tg\, u} \text{ und } f^* = \frac{h}{tg\, u^*}$$

Werden diese Quotienten geometrisch aufgefasst, so erscheinen h^* und f als die Katheten eines rechtwinkeligen Dreiecks mit dem Winkel u, h und f^* als die Katheten eines anderen rechtwinkeligen Dreiecks mit dem Winkel u^*, und man kann die Construction dieser Dreiecke gleich in die Figur verlegen, woraus sich dann der maassgebende Strahlengang ergiebt.

Seien für ein collectives System, Fig. 10, gegeben:

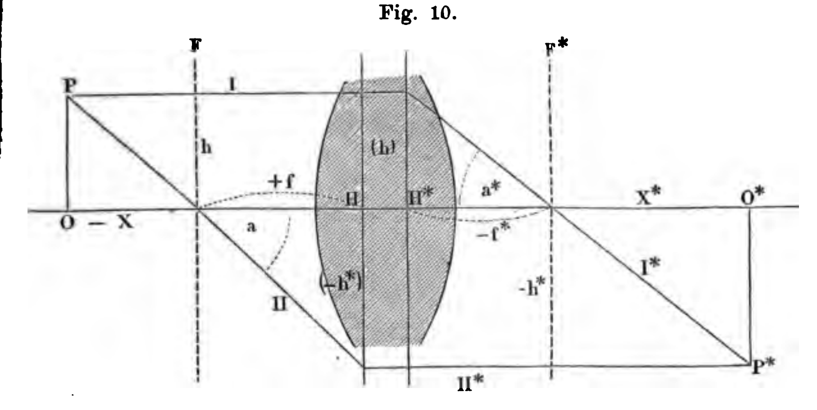
$$F \text{ und } F^*, \text{ ferner } f = \frac{h^*}{tg\, u}, \ -f^* = \frac{h}{tg\, u^*}$$

und der Abstand des Objectes von $F = -x$, so tragen wir f und $-f^*$ von F und F^* aus auf der Achse ab und erhalten die beiden Punkte H und H^*, durch welche Senkrechte zur Achse zu legen sind [1]). Ziehen wir nun von P aus den Parallelstrahl I und den Focalstrahl II,

[1]) Man erkennt leicht, dass wir durch dieses Verfahren in den Punkten H und H^* auf die Hauptpunkte der Gauss'schen Betrachtungsweise gekommen sind, deren Entfernung von den entsprechenden Brennpunkten F und F^* durch die Brennweiten f und f^* ausgedrückt erscheinen.

so muss der conjugirte Strahl des ersteren I^* gemäss der Definitionsformel nothwendig durch den Brennpunkt F^* gehen, der II conjugirte Strahl II^* parallel zur Achse gerichtet sein. Der endliche Verlauf der beiden Strahlen wird hierauf gefunden, indem man unter gleichzeitiger Verlängerung des Strahles I bis zum Schnitte mit H^* die Construction der betreffenden rechtwinkeligen Dreiecke, von denen durch die Lage des Objectpunktes P ausser f und f^* noch je h und u gegeben, h^* und u^*

Fig. 10.



gesuchte Grössen sind, an den Brennpunkten F und F^* vornimmt. Die Verlängerung des Strahles I^* über F^* hinaus und der Parallelstrahl II^* bestimmen dabei an ihrem Durchschnitt den zu P zugeordneten Punkt P^* und es stellt $P\,Q^*$ das Bild von $P\,Q$ dar.

Aus den Gleichungen I. und II. sowie aus den Definitionen für f und f^* lassen sich nun — und hierin sowie in dem wichtigen Leitfaden, welcher sich dabei für die richtige Auffassung und Beurtheilung der entscheidenden Umstände ergiebt, beruht gerade der unschätzbare Vortheil der Abbe'schen Methode — die Elemente für ein zusammengesetztes System aus den Elementen der Bestandtheile, d. h. aus den Oertern der Brennebenen und den Brennweiten in höchst einfacher Weise durch folgende Betrachtung ableiten. 17

Sind F_1 und $F_1{}^*$, F_2 und $F_2{}^*$, F und F^*, Fig. 11 (a. f. S.), die vordere und hintere Brennebene, f_1 und $f_1{}^*$, f_2 und $f_2{}^*$ f und f^* vordere und hintere Brennweiten des ersten Gliedes, des zweiten Gliedes und des ganzen Systemes; ist ferner $\triangle$ der Abstand der vorderen Brennebene des zweiten Gliedes von der hinteren Brennebene des ersten, ζ der Abstand der vorderen Brennebene des ersten Gliedes zur vorderen des ganzen Systemes, ζ^* der Abstand von der hinteren

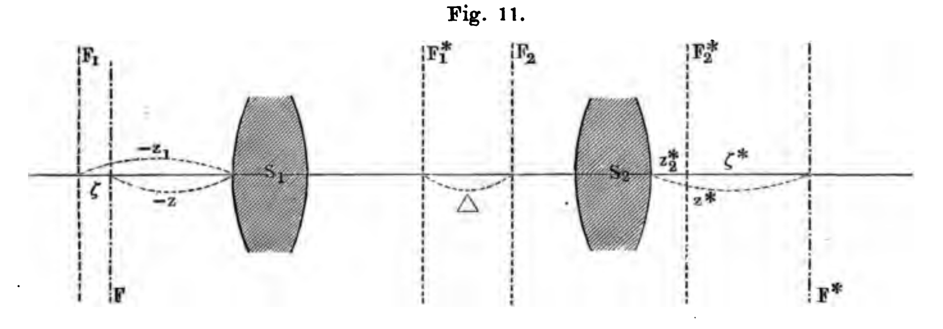
Brennebene des **zweiten Gliedes** zur **hinteren** des ganzen Systemes; so ist für das ganze System:

V.
$$f = -\frac{f_1 f_2}{\Delta}$$
$$f^* = \frac{f_1^* f_2^*}{\Delta}$$

VI.
$$\zeta = \frac{f_1 f_1^*}{\Delta}$$
$$\zeta^* = -\frac{f_2 f_2^*}{\Delta}$$

wodurch die Elemente desselben wieder in gleicher Art bestimmt sind.

Fig. 11.



Sind die Brechungsexponenten der vor, zwischen und hinter den beiden Gliedern liegenden Medien der Reihe nach n, n^1, n^*, so ist:

V a.
$$f = -\frac{f_1 f_2}{\Delta}$$
$$f^* = \frac{n^*}{n} \cdot \frac{f_1 f_2}{\Delta}$$

VI a.
$$\zeta = -\frac{n_1}{n} \cdot \frac{(f_1)^2}{\Delta}$$
$$\zeta^* = \frac{n^*}{n} \cdot \frac{(f_2)^2}{\Delta}$$

Werden alle drei Medien und damit n, n_1 und n^* einander gleich, so wird

V b.
$$f = -\frac{f_1 f_2}{\Delta}$$
$$f^* = \frac{f_1 f_2}{\Delta}$$

VI b.
$$\zeta = -\frac{(f_1)^2}{\Delta}$$
$$\zeta^* = \frac{(f_2)^2}{\Delta}$$

Ist ferner die Lage von F_1 durch den Abstand z_1 der Brennebene von der Vorderfläche des vorderen Gliedes, die Lage von $F_2{}^*$ durch den Abstand $z_2{}^*$ der betreffenden Brennebene von der hinteren Fläche des zweiten Gliedes gegeben, so lassen sich die Abstände der Brennpunkte, beziehentlich der Brennebenen F und F^* von denselben beiden äusseren Grenzflächen bestimmen durch die Gleichungen:

VII.
$$z = z_1 + \zeta$$
$$z^* = z_2{}^* + \zeta^*$$

wobei aber wieder alle Strecken: die ζ wie die z, negativ zu setzen sind, wenn sie von den angenommenen Nullpunkten aus zur Richtung der Lichtbewegung entgegengesetzt liegen.

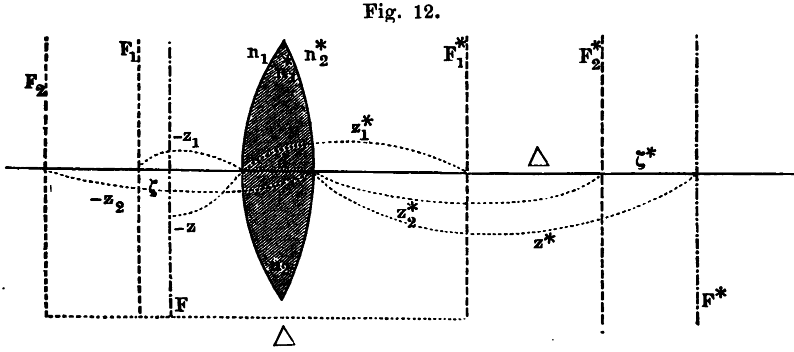
Die Uebertragung dieser Betrachtungen auf Systeme von drei und mehr Gliedern durch successive Combination hat so wenig praktisches Interesse, dass wir von deren Durchführung füglich absehen können.

2. Abbildungsgesetze für Linsen und Linsensysteme.

18 Die Anwendung der in dem Vorausgehenden entwickelten allgemeingültigen Abbildungsgesetze auf wirkliche Linsen und Linsensysteme lässt sich nun in kurzen Zügen darlegen.

Unter einer Linse im Allgemeinen versteht man bekanntlich ein aus drei Medien gebildetes, einfaches, centrirtes dioptrisches System, in

Fig. 12.



welchem das mittlere, in der Regel dichtere Medium durch zwei Kugelflächen von den beiden äusseren, dem vorderen und hinteren Medium getrennt wird. Als Linsensystem bezeichnet man dagegen die Verbindung zweier oder mehrerer Linsen, welche entweder je nur einem oder beiden der oben definirten Systeme angehören können.

Die Elemente einer beliebigen Linse (Fig. 12) ergeben sich, unter Anwendung der Zusammensetzungsformel auf Seite 16 und unter der Berücksichtigung, dass nun $\triangle$ durch den Ausdruck

$$-(-z_2 + z_1{}^* - d) \text{ oder } z_2 - z_1{}^* + d$$

zu ersetzen ist, worin d die Linsendicke bedeutet und die z und z^* als die Abstände der F und F^* von den betreffenden Linsenscheiteln ab gerechnet sind.

Es ist nämlich:

VIII. $$f = -\frac{f_1 f_2}{z_2 - z_1^* + d}$$

$$f^* = \frac{f_1^* f_2^*}{z_2 - z_1^* + d}.$$

IX. $$\zeta = \frac{f_1 f_1^*}{z_2 - z_1^* + d}$$

$$\zeta^* = -\frac{f_2 \cdot f_2^*}{z_2 - z_1^* + d}$$

X. $$z = -z_1 + \zeta$$

$$z^* = z_2^* + \zeta^*$$

Aus diesen Gleichungen erhält man die gangbaren, für die Zwecke der praktischen Optik verwerthbaren Formeln für Linsen, wenn man für jede einzelne der brechenden, die Linse von den umgebenden Medien trennenden Flächen die Lage der Brennebenen sowie die Brennweiten, d. h. die Verhältnisse $\frac{h^*}{tg\,u}$ und $\frac{h}{tg\,u^*}$ bestimmt.

Daraus gehen zunächst die Gleichungen:

VIII a. $$f = -\frac{f_1 f_2}{f_1^* - f_2 + d}$$

$$f^* = \frac{f_1^* f_2^*}{f_1^* - f_2 + d}$$

IX a. $$\zeta = \frac{f_1 f_1^*}{f_1^* - f_2 + d}$$

$$\zeta^* = -\frac{f_2 f_2^*}{f_1^* - f_2 + d}$$

hervor, in denen die z_1 und z_2 durch die Brennweite f_1 und f_2 vertreten sind, und aus ihnen erhält man durch Einsetzen der aus den Brechungsindices und den Krümmungsradien berechneten Werthe der Brennweiten, die aus diesen Bestimmungsstücken (den n und z) und der Linsendicke gebildeten Formeln der optischen und physikalischen Lehrbücher.

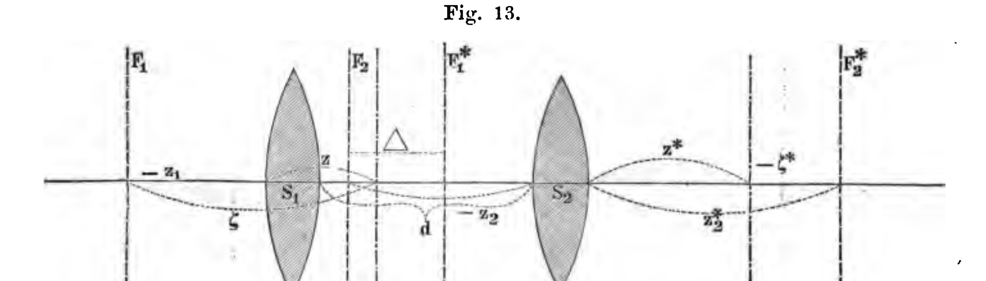
Für Linsensysteme (Fig. 13) ist $\triangle$ gleichfalls zu setzen:

$$z_2 - z_1^* + d$$

wobei d den von den einander zugewendeten Linsenflächen aus gerechneten Abstand des ersten Gliedes von dem zweiten Gliede bedeutet und die z und z^* von den entsprechenden, den zugehörigen F und F^* zugewendeten Linsenscheiteln aus zu nehmen sind.

Die Formeln zur Bestimmung der Constanten bleiben dabei die gleichen wie bei der einfachen Linse und tritt nur insofern eine Verschiedenheit ein, als bei von einander abstehenden Linsen je nach der Lage von F_1^* und F_2 $\triangle$ entweder negativ (wie in dem der Figur zu Grunde gelegten Falle, wo F_2 links von F_1^* liegt) oder positiv sein

Fig. 13.



kann (wenn F_2 rechts von F_1^* zu liegen kommt) und als $d = 0$ wird, wenn die beiden Glieder sich einander berühren.

Sind die Constanten einer Linse oder eines Linsensystemes bekannt, so lassen sich daraus Lage und Grösse der Bilder eines gegebenen Objectes auf Grund der Grundgleichungen I. und II. sowohl durch Rechnung bestimmen, als auch nach der auf Seite 14 u. 15 gegebenen Anleitung construiren.

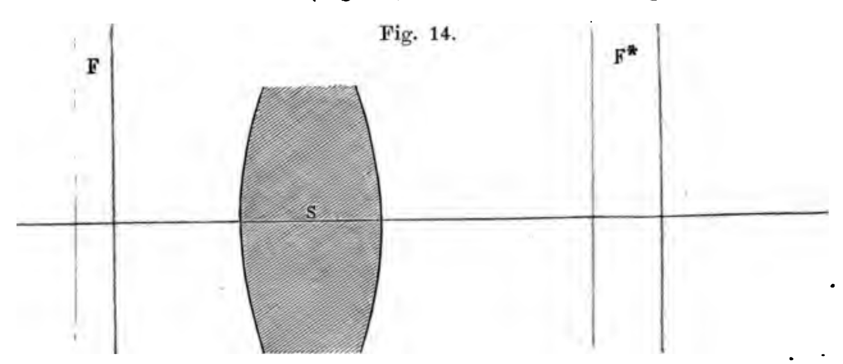
3. Chromatische Abweichung und Achromasie.

Bei der bisher verfolgten Darlegung der Abbildungsgesetze wurde überall Licht von gleicher Wellenlänge vorausgesetzt und an diese Voraussetzung die Annahme der Beständigkeit der Constanten eines optischen Systemes geknüpft. Nun ist aber bekanntlich das weisse Licht aus einer Reihe farbiger Lichtarten zusammengesetzt, welche verschiedene Wellenlängen, also auch verschiedene Brechungsindices besitzen und demnach bei dem Uebergange aus einem Medium in ein anderes verschieden starke — und zwar die rothen eine schwächere, die blauen eine stärkere — unter dem Namen der Farbenzerstreuung bekannte Ablenkung erfahren. 19

Da demzufolge für das bei unseren optischen Instrumenten vorzugsweise in Betracht kommende gemischte Licht die gemachte Voraussetzung nicht bestehen bleiben kann, so muss auch die daran geknüpfte Annahme fallen und es muss bei dem Uebergange von gemischtem Lichte in ein optisches System eine Veränderlichkeit der Constanten eintreten. Diese kennzeichnet sich dadurch, dass auch unter Voraussetzung unendlich dünner Strahlenbüschel für die verschiedenen Lichtarten eine Verschie-

bung der Brennpunkte auf der Achse und eine Veränderung der Brennweiten eintritt. Stellt S irgend ein optisches System vor, so wird die Verschiebung der Brennpunkte sowohl in den vor als hinter demselben befindlichen Medien, z. B. für Roth und Blau, sich in einer bestimmten Weise kenntlich machen (Fig. 14), während die Brennpunkte für alle

Fig. 14.



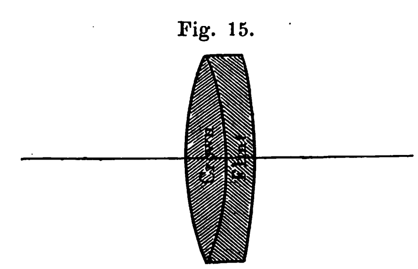
zwischen den obigen liegenden Farben zwischen die beiden äussersten Lagen fallen müssen.

Die Brennweiten wechseln von Roth nach Blau in absteigenden Verhältnissen, indem diejenige der äussersten rothen Strahlen den grössten, diejenige der äussersten blauen resp. violetten Strahlen den kleinsten Werth erlangt.

In Bezug auf das von einem optischen System erzeugte Bild macht sich die Verschiebung der Brennpunkte durch die Entwickelung der verschiedenfarbigen Bilder in verschiedenen, hinter einander liegenden Ebenen geltend, während die Veränderung der Brennweiten verschiedene Vergrösserung der Einzelbilder für verschiedene Farben — chromatische Differenz der Vergrösserung — hervorruft.

Die Veränderlichkeit der Constanten eines optischen Systemes für verschiedene Lichtarten und die an sie geknüpften Erscheinungen bei der Abbildung bezeichnet man als **chromatische Abweichung** oder **Farbenabweichung**, und es ergiebt sich daraus als die Bedingung für deren Aufhebung oder für vollkommene Achromasie die Identität der F und F^*, sowie der f und f^* eines optischen Systemes für alle Farben.

Fig. 15.



Zur Herstellung dieser Identität werden in der Praxis eine biconvexe Sammellinse aus Crownglas und eine entsprechende Concav- oder Zerstreuungslinse aus Flintglas in der in Fig. 15 dargestellten Weise zu

einer sogenannten **achromatischen** Doppellinse verbunden, deren Brennweite sich durch die aus der Gleichung VIII a. leicht ableitbaren Gleichung

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2}$$

darstellen lässt, während als Bedingung der Achromasie ein bestimmtes Verhältniss zwischen den Brennweiten der Einzellinsen stattfinden muss. Dieses Verhältniss wird durch die Verhältnissgleichung:

$$f_1 : - f_2 = \frac{d n_1}{n_1 - 1} : \frac{d n_2}{n_2 - 1}$$

ausgedrückt, in welcher f_1 die Brennweite der Sammellinse, $- f_2$ die Brennweite der Zerstreuungslinse, $d n_1$ und $d n_2$ die Differenzen der Brechungsindices zwischen Roth und Blau von Crown- und Flintglas, die beiden Glieder des zweiten Verhältnisses also die totale Dispersion der beiden Glassorten darstellen.

Betrachten wir andere Farben, als Roth und Blau, so ändert sich bei allen bis jetzt bekannten Glasarten das Verhältniss $d n_1 : d n_2$. Daraus geht aber hervor, dass die Veränderlichkeit der Constanten für die verschiedenen Lichtarten innerhalb der abbildenden Strahlenkegel einen verschiedenen Gang befolgen muss und dass eine Linsenverbindung, welche die Identität für die F und F^* und f und f^* der äussersten Farben herbeiführt, dies um so weniger für die mittleren Farben bewirken kann, als der Gang der Farbenzerstreuung in Crown- und Flintglas ein für beide Glassorten verschiedener ist. Eine vollkommene Achromasie kann daher mit den uns zur Zeit zu Gebote stehenden Mitteln, selbst für eine einzelne Linsenverbindung, nicht herbeigeführt werden, und es müssen immer noch Reste der Farbenabweichung übrig bleiben, die sich in den mittleren Farben bewegen und als **secundäre Farbenabweichung** bezeichnet werden.

Bei Systemen von zusammengesetztem Bau (aus mehreren Elementen) tritt, abgesehen von dieser in jedem Falle unvermeidlichen Unvollkommenheit der Achromasie (der secundären Abweichung), noch der Umstand hinzu, dass vollkommene Herstellung derselben auch für nur **zwei** Farben im Allgemeinen nur dann erreicht werden könnte, wenn **alle** Bestandtheile eines solchen Systemes **einzeln** achromatisch gemacht würden.

Da nun die Erfüllung dieser Forderung in der Praxis die Herstellung von Systemen ausserordentlich erschweren müsste, so begnügt man sich in der Regel mit einer **theilweisen** Achromasie, indem man entweder nur die Uebereinstimmung **eines** Paares zugeordneter Vereinigungspunkte — im Besondern **eines** Hauptbrennpunktes — für zwei Farben herbeiführt und die Brenn**weiten** verschieden lässt, oder aber die Brenn**weiten** für zwei Farben gleich macht, während die Brenn**punkte** — also auch beliebige Vereinigungspunkte — für verschiedene Farben verschieden bleiben.

Für das Objectivsystem des Mikroskopes ist in Bezug auf die Bildschärfe vorzugsweise die gleiche Lage der Bildebene von wesentlicher Bedeutung und findet daher bei ihrer Construction die Herbeiführung der ersten Art der theilweisen Achromasie ihre Anwendung.

Die Art und Weise, in welcher diese Art der theilweisen Achromasie, bei welcher also die verschiedenfarbigen Bilder in eine Ebene zusammenfallen, während die Vergrösserung der Bilder, welche in jedem Falle durch die Gleichung:

$$\frac{y^*}{y} = \frac{f}{x} \text{ (Seite 10)}$$

bestimmt ist, weil x vollständig gleich bleibt, jedenfalls für Roth und Blau genau in dem Verhältnisse verschieden ausfallen, als f für beide Farben verschieden ist, also die chromatische Differenz der Vergrösserung bestehen bleibt, in die Erscheinung tritt, bekundet sich folgendermaassen. In der Mitte des Bildfeldes fallen die verschiedenfarbigen Bilder ganz oder nahezu zusammen, während, je weiter sie sich von dieser entfernen, die blauen Bilder immer mehr und mehr über die rothen übergreifen. Die Differenz in der Vergrösserung beeinträchtigt sonach die Schärfe der Abbildung in der Mitte des Feldes nicht, und wenn die Veränderlichkeit des f nicht gross ist, und das System — wie bei dem Mikroskopobjectiv — nur ein verhältnissmässig kleines Bildfeld [1]) zu liefern braucht, so bringt eine derartige Unvollkommenheit, wie sie bei der in Rede stehenden Art der theilweisen Achromasie zu Tage tritt, keinen praktischen Nachtheil. Dem gegenüber würde eine kleine Verschiedenheit im Orte des vorderen Brennpunktes sehr grosse Verschiedenheit in der Lage der rothen und blauen Bilder zur Folge haben und die daraus entspringenden Zerstreuungskreise wegen der verhältnissmässig grossen Divergenzwinkel der abbildenden Strahlenkegel grosse Durchmesser gewinnen, also grosse Undeutlichkeit hervorrufen.

Die zweite Art der theilweisen Achromasie erleidet ihre Verwendung bei der Construction von Loupe und Ocular, durch welche ein Object abgebildet wird, welches nahe an dem vorderen Hauptbrennpunkte liegt, so dass sich, wie wir bereits früher gesehen haben, h als (halbe) lineare Grösse des Objectes und u^* als (halber) Gesichtswinkel oder als (halbe) anguläre Grösse des Bildes deuten lassen. Da nun für den Fall als ein optisches System für Roth und Blau die gleiche Brennweite f^* besitzt, das Verhältniss:

$$\frac{h}{tg\, u^*} = f^*$$

für beide Farben auch dann denselben Werth behält, wenn die Brenn-

[1]) Das Objectivbild beim Mikroskop ist verhältnissmässig klein, wenn sein Durchmesser im Verhältniss zu seinem Abstande von dem Objectiv, oder der Durchmesser des Objects im Verhältniss zur Brennweite betrachtet wird.

punkte verschiedene Lage haben sollten und demgemäss demselben h auch für die verschiedenen Farben dasselbe u^* entspricht, so erscheinen die verschiedenfarbigen Bilder unter gleichem Sehwinkel, auch wenn sie in wesentlich verschiedenen Ebenen auftreten sollten.

Da für die gedachten optischen Systeme, bei denen es auf eine Ausbreitung des Bildes auf grossen Sehwinkel hinauskommt, eine nur verhältnissmässig geringe Veränderlichkeit der vorderen Brennweite schon breite Farbensäume ausserhalb der Achse herbeiführen und die Bildschärfe beeinträchtigen würde, so wird hier die Farbenzerstreuung in der Regel durch mehrere (zwei) Linsen so geleitet, dass die aus dem Systeme austretenden verschiedenfarbigen Strahlenbüschel die Achse unter dem gleichen Winkel u schneiden, dass also für verschiedene Farben gleiche Brennweite herbeigeführt wird und die in verschiedenen Ebenen auftretenden verschiedenfarbigen Bilder, indem sie unter gleichem Sehwinkel, also in gleicher angulärer Vergrösserung gesehen werden, zur vollständigen Deckung gelangen. Unter diesen Umständen erscheinen allerdings die Bildpunkte des einen — z. B. rothen — Bildes in Form von Zerstreuungskreisen, wenn das andere — hier das blaue Bild — scharf gezeichnet ist, allein es lässt sich nachweisen, dass bei den hier in Betracht kommenden sehr kleinen Divergenzwinkeln der abbildenden Strahlenkegel auch merklich verschiedene Höhenlagen der verschiedenfarbigen Bilder noch keine beträchtlichen Zerstreuungskreise liefern, also auch keinen merklichen Einfluss auf die Schärfe der Abbildung äussern können, dass also für die Construction der Lupe wie des Oculares die in der Praxis thatsächlich in Anwendung gebrachte Achromasie der Brennweiten, nicht aber der Brennpunkte wesentliches Erforderniss ist.

Bei dem Gebrauche einer einfachen Linse als Lupe könnten, da dabei der Durchmesser der eintretenden Strahlenkegel gleich dem Durchmesser der Pupille des beobachtenden Auges (etwa 4 mm) zu setzen wäre, die Zerstreuungskreise, welche durch die Linse so gesehen werden, wie ein Object von gleicher linearen Grösse, allerdings eine Grösse erreichen, welche durch eine stark vergrössernde Linse sehr merkbar werden würden, indem dieselben dem Auge nach Maassgabe der Vergrösserung der Linse vergrössert erscheinen. Da man jedoch stark vergrössernden unachromatischen Lupen schon aus anderen Gründen eine enge Blendung geben muss, welche den Durchmesser des austretenden Strahlenkegels auf eine weit geringere Grösse als 4 mm beschränkt, und da der hier auftretende Zerstreuungskreis ausserdem schon sehr lichtschwache Farben umfasst, während derjenige der hellen Farben auf viel geringere Beträge beschränkt bleibt, so wird die Undeutlichkeit hier unter allen Umständen eine praktisch nicht in Betracht kommende sein.

Wird eine unachromatische Linse als Ocular eines Mikroskopes benutzt, so ist der Durchmesser des austretenden Strahlenkegels im Verhältniss zu f durch das Verhältniss der linearen Objectivöffnung zur

Tubuslänge bestimmt und wird in der Praxis meist — namentlich aber bei starken Objectivsystemen — viel kleiner als bei der Lupe.

Der lineare Durchmesser des von dem unachromatischen Ocular herrührenden Zerstreuungskreises in dem für das Ocular als Object dienenden Bilde wird daher ein so kleiner, dass er für die Entfernung des deutlichen Sehens = 250 mm schon ganz nahe an der Grenze der sichtbaren Ausmaasse liegt. Eine Scheibe von betreffendem Durchmesser würde schon nicht merklich von einem Punkte verschieden erscheinen, während der lichtstarke Theil des fraglichen Zerstreuungskreises einen noch kleineren Durchmesser behält.

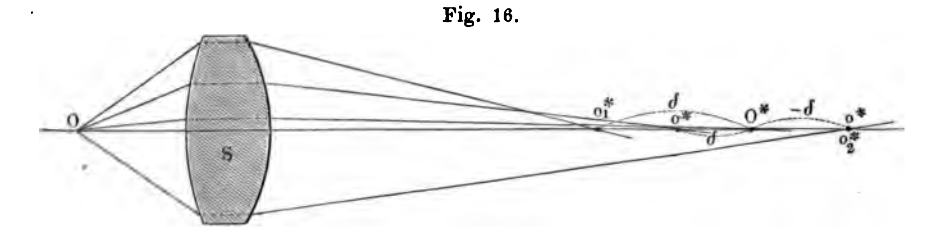
Auf Grund der hier gegebenen Nachweise erklärt es sich erstlich, dass man Mikroskop-Objective construiren kann, welche den praktischen Anforderungen in Bezug auf Achromasie genügen, ohne dass die einzelnen Glieder für sich achromatisch sind. Andererseits geht daraus hervor, dass sich mit ganz unachromatischen Linsen Oculare zusammensetzen lassen, welche keine merkliche Farbenfehler zeigen, obwohl die Brennpunkte eines derartigen Systemes in keinem Falle für die verschiedenen Farben übereinstimmen können.

4. Sphärische Abweichung und Vergrösserungsfehler. Aplanatismus.

Bei der Bilderzeugung durch optische Instrumente kommen nicht mehr unendlich enge abbildende Strahlenkegel, sondern solche von meist endlichen und zwar verhältnissmässig grossen Divergenzwinkeln in Betracht, und es wird dadurch die scharfe punktweise Abbildung in verschiedener Weise beeinflusst.

20 Betrachten wir den Weg von Lichtstrahlen mit grossem Divergenzwinkel bei ihrem Durchgange durch eine einfache Linse oder ein nicht corrigirtes Linsensystem, so zeigt sich Folgendes:

Fig. 16.



Ist S, Fig. 16, ein Linsensystem, in welches von dem Achsenpunkte O aus ein weitgeöffneter Strahlenkegel eintritt, so werden für den Fall, dass die Wirkung der Collectivlinsen überwiegt, das System also unterverbessert erscheint, die beiderseits der Achse nahe gelegenen schwächer abgelenkten Strahlen, nachdem sie durch das System hindurchgegangen

und in den Bildraum hinübergetreten sind, ihre Vereinigung in dem zugeordneten Bildpunkte O^* finden. Die beiderseits weiter entfernten, die mittlere und die Randzone des Systemes durchlaufenden, eine stärkere Ablenkung erleidenden Strahlen werden dagegen — wie auf der oberen Seite der Figur gezeichnet — schon in der Hinterfläche des Systemes näher gelegenen Oertern der Achse in o^* und o_1^* zusammentreffen. Die entgegengesetzte Erscheinung tritt ein, wenn die Wirkung der Zerstreuungslinsen überwiegend erscheint, das System also überverbessert ist. Es schneiden dann die weiter von der Achse entfernt auftreffenden Strahlen die letztere in weiterer Entfernung von der Hinterfläche des Systemes als die Achsenstrahlen — untere Seite der Figur —. Diese Thatsache besagt: für die Strahlen eines weitgeöffneten Strahlenkegels unterliegen für die von der Achse nach dem Rande der Linse sich folgenden Strahlen die Entfernungen ihrer Durchschnittspunkte mit der Achse (oder unter sich) einer continuirlichen Veränderlichkeit. Diese letztere bezeichnet man als Abweichung in Folge der Kugelgestalt, oder als sphärische Abweichung und zwar als positive (Fig. 16 oben) oder negative (Fig. 16 unten) sphärische Abweichung, je nachdem die Durchschnitts- oder Vereinigungspunkte der Randstrahlen vor oder hinter denjenigen der Achsenstrahlen liegen [1]), während der Unterschied in der Lage dieser Punkte, d. h. die Strecken $O^* o^*$, $O^* o_1^*$, $O^* o_2^*$, Länge der sphärischen Abweichung genannt wird.

Bezeichnet man mit u den Abweichungswinkel irgend eines von O ausfahrenden Strahles im Spielraume des Querschnittes der Vorderfläche von S — wobei u grösser oder kleiner sein kann —, so lässt sich im Allgemeinen die Länge δ der sphärischen Abweichung eines solchen Strahles darstellen durch die Gleichung:

$$\delta = a_1 \sin^2 u + a_2 \sin^4 u + a_3 \sin^6 u + \cdots$$

in welcher $a_1 a_2 a_3 \ldots.$ positive oder negative Coefficienten bedeuten, welche für jeden gegebenen Fall, also für ein bestimmtes System und eine bestimmte Lage von O, bestimmte Zahlenwerthe haben. Der mathematische Ausdruck für die sphärische Längenabweichung setzt sich somit aus mehreren Gliedern zusammen, welche mit den geraden Potenzen des in allen Gliedern wirksamen Neigungswinkels u in sehr ungleichem Grade anwachsen. Ist dieser Neigungswinkel klein (wie z. B. bei Objectivsystemen mit kleiner Oeffnung), so überwiegt das erste Glied des Ausdruckes so sehr gegen die folgenden — es kann grösser sein als die Summe der übrigen —, dass diese ihm gegenüber vollständig verschwinden, und die Länge der sphärischen Abweichung kann unter der gemachten Voraussetzung, also für kleine Neigungswinkel durch das erste Glied:

$$\delta = a^1 \sin^2 u$$

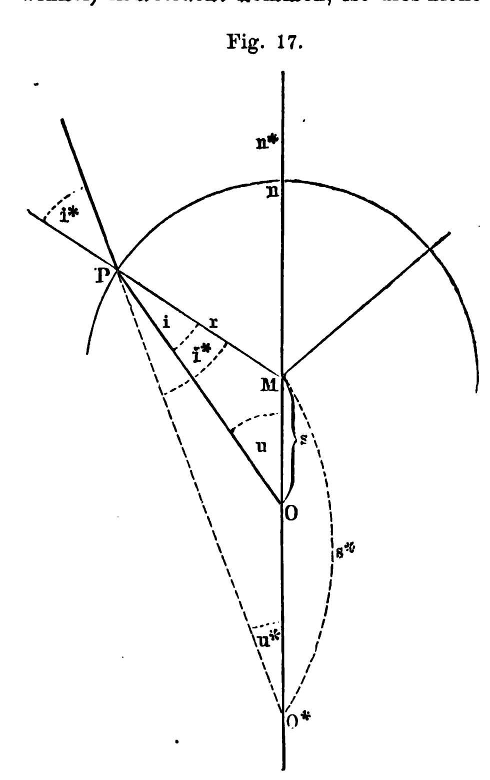
---

[1]) Hierbei ist der Fall eines reellen Bildpunktes zur Richtschnur genommen. Bei einem virtuellen Bildpunkte würden sich die Kennzeichen der positiven und negativen sphärischen Abweichung gerade umkehren.

fast genau ausgedrückt werden. Würde aber unter sonst völlig gleichen Umständen — z. B. bei einem System von grösserem Oeffnungswinkel — der Neigungswinkel u der äussersten Randstrahlen auf 45°, also dessen Sinus etwa auf 0,7 oder genau auf $\frac{1}{\sqrt{2}}$ wachsen, so müssten, insofern nicht etwa zufällig $a_2 a_3 \ldots$ gegen a_1 sehr klein blieben, die auf das erste folgenden Glieder diesem gegenüber sehr bemerklich hervortreten und es könnte δ allenfalls, d. h. für negative $a_2 a_3 \ldots$ einen negativen Werth erhalten, während a_1 positiv ist, also δ für Strahlen in der Nähe der Achse eine positive Abweichung ergeben muss.

Aus dieser Betrachtung geht hervor, dass man nur insolange von einer bestimmten Art der sphärischen Abweichung, also, je nachdem der Coefficient des ersten Gliedes a_1 positiv oder negativ ist, von unterverbessert oder überverbessert sprechen kann, als man es mit kleinen Neigungswinkeln der Strahlen zu thun hat. Sobald grössere Neigungswinkel (also für optische Systeme grosse Oeffnungswinkel) in Betracht kommen, ist dies nicht mehr thunlich. Die sphärische Abweichung geht dann in eine weit verwickeltere Erscheinung über, indem sie stärker geneigten Strahlen eine ganz andere Art der Abweichung zeigen können, als diejenigen in der Nähe der Achse und als das Vorzeichen von δ sogar mehrmals umkehren kann, wenn man nach und nach von kleinen u zu grossen übergeht.

Fig. 17.



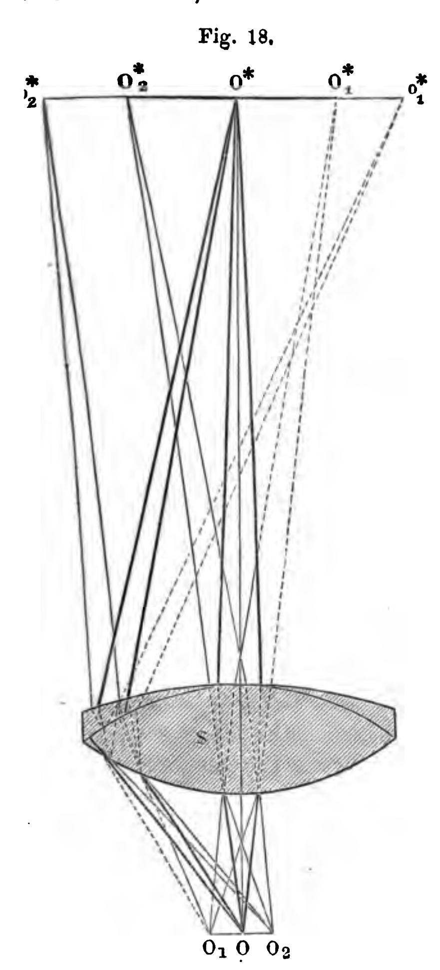
Bei der Brechung durch eine Kugelfläche (Fig. 17) giebt es indessen immer zwei Paare von zugeordneten Punkten, für welche keine sphärische Abweichung eintritt, die ausfahrenden Strahlenkegel also bei beliebigem Divergenzwinkel streng homocentrisch bleiben.

Das erste Paar liegt selbstverständlich in dem Mittelpunkte der Kugel, indem von diesem aus die Strahlen ohne Brechung austreten und der Bildpunkt mit dem Objectpunkte zusammenfällt. Das zweite Paar,

welchem **trotz** stattfindender Brechung keine sphärische Abweichung
tritt, bilden die beiden Punkte O im Abstande $S = \frac{n^*}{n} \cdot r$ und O^*
Abstande $S^* = \frac{n}{n^*} \cdot r$ vom Mittelpunkte der Kugelfläche.

Der Einfluss der sphärischen Abweichung auf die Abbildung giebt darin kund, dass an Stelle eines scharfen Bildpunktes O^* in der Bildebene eine Uebereinanderlagerung von Zerstreuungskreisen auftritt, welche ihrer Ausdehnung nach im geraden Verhältnisse zu der Länge der sphärischen Abweichung stehen und dass damit selbst für die Achsenpunkte der Objectebene die Bedingung einer regelrechten Abbildung aufgehoben erscheint. Das Gleiche gilt in noch höherem Maasse für die ausserhalb der Achse gelegenen Objectpunkte, also für die Abbildung eines beliebigen Flächenelementes.

Fig. 18.



Diese Abweichung lässt sich in Folge des ungleichen Ganges, welchen die einzelnen Glieder bei verschiedenen Neigungswinkeln, sowie in den verschiedenen Bestandtheilen eines zusammengesetzten optischen Systemes befolgen, weder durch die Verbindung zweier entsprechender Linsen: einer Sammellinse und einer Zerstreuungslinse, noch durch die Verbindung von mehreren Doppellinsen oder von einfachen und Doppellinsen zu einem Linsensysteme vollständig, d. h. für alle Punkte der Achse gleichzeitig aufheben. Dagegen gestatten derartige Verbindungen eine gewisse Einschränkung und namentlich eine vollkommene Aufhebung für die einzelnen Paare einander zugeordneter Punkte auf der Achse.

21 In welcher Weise die Vergrösserungsfehler in die Erscheinung treten, ergiebt sich, wenn man den Gang von aus dem Gesammt-Strahlenkegel

isolirt gedachten Strahlenkegeln verfolgt, welche bei verschiedener Neigung gegen die Achse, und indem sie verschiedene Zonen der lichten Linsenfläche in Thätigkeit setzen, an der Abbildung eines Flächenelementes theilnehmen [1]).

Stellt O_1, O, O_2 (Fig. 18, a. v. S.) ein solches Flächenelement vor und lassen wir von den einzelnen Punkten O_1, O, O_2 je ein centrales und ein peripherisches Strahlenbüschel auf die Linse S treffen, so werden die ersteren das Bild $O_2^* \; O^* \; O_1^*$, die letzteren das Bild $o_2^* \; O^* \, o_1^*$ erzeugen. Beide Bilder fallen nur in ihrem mittleren Theil zusammen, während die seitlichen Theile, sowohl in den Ebenen, in welchen sie entworfen werden, als ihrer räumlichen Ausdehnung nach aus einander fallen können. Man ersieht daraus, dass dasjenige Bild eines axialen Flächenelementes, welches durch den Randtheil einer Linse oder eines Linsensystemes, also durch zur Achse geneigte Strahlenkegel erzeugt wird, auch bei vollkommener Strahlenvereinigung auf der Achse, d. h. bei vollständiger Aufhebung der sphärischen Abweichung für den Achsenpunkt im Allgemeinen eine andere Vergrösserung zeigen wird als dasjenige Bild, welches gleichzeitig durch die Mitte des optischen Systemes, also durch nahe an der Achse durchgehende Strahlen entsteht und dass bei Objectivsystemen von grossem Oeffnungswinkel dieser Unterschied der linearen Vergrösserung für verschiedene Meridiane und für verschiedene Neigung der abbildenden Strahlenkegel grosse Verschiedenheit zeigen kann.

Da nun das Bild, welches durch Vermittelung von Strahlenkegeln mit grossem Divergenzwinkel entworfen wird, als das Resultat einer Uebereinanderlagerung der unendlich vielen — mittelst enger Blendungsöffnungen sichtbar zu machenden — Einzelbilder erscheint, welche die verschiedenen Theile der lichten Linsenfläche einzeln erzeugen würden, so können diese, wenn ihre lineare Vergrösserung verschieden ist, wohl in dem Achsenpunkte der Bildfläche zusammenfallen, müssen aber mit zunehmendem Abstande von der Achse — und zwar in geradem Verhältniss zu diesem Abstande — weiter und weiter auseinander treten. Das Bild eines dicht neben der Achse liegenden Objectpunktes wird daher in einen Zerstreuungskreis aufgelöst, dessen Durchmesser ein endliches — unter Umständen sehr beträchtliches — Verhältniss zu seiner Entfernung von der Achse, also zu den Ausmaassen des abgebildeten — auch noch so kleinen — Flächentheiles erhält. Damit ist aber die Voraussetzung einer Abbildung in dem Sinne, in welchem das Wort allein eine Bedeutung hat, aufgehoben.

Soll ein optisches System ein wirklich deutliches und scharfes Bild von einem gegebenen Objecte erzeugen, so muss dasselbe neben der Aufhebung der sphärischen Abweichung für ein Paar zugeordnete Punkte auf der Achse noch der weiteren Forderung genügen, dass es für alle

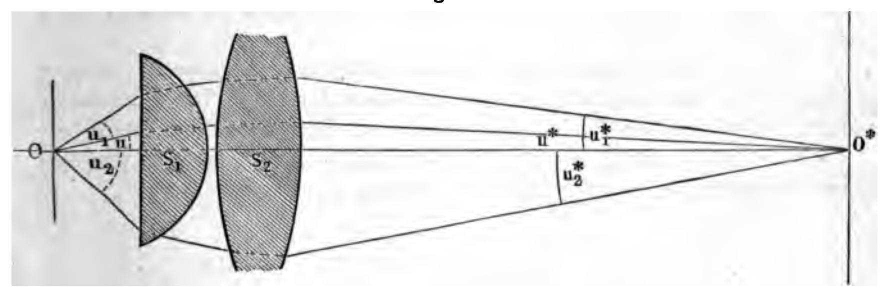
[1]) Abbe, „Ueber die Bedingungen des Aplanatismus". Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft 1879.

Theile der lichten Linsenfläche, d. h. für alle Strahlenrichtungen in den **Grenzen des** Divergenzwinkels der abbildenden Strahlenkegel, übereinstimmende Vergrösserung gewährt.

Erst durch Erfüllung auch dieser zweiten Forderung werden alle **Abweichungen** ausgeschlossen, welche nicht von höherer Grössenordnung **als die** Ausmaasse des abzubildenden Flächenstückes sind, und wird die **Abbildung** eines solchen Flächenstückes durch Strahlenkegel von endlichen Divergenzwinkeln möglich gemacht.

Die geforderte Uebereinstimmung der Vergrösserung erscheint aber **nur dann** verwirklicht, wenn innerhalb der beiden zugeordneten Strahlenbüschel, welche in den Achsenpunkten O und O^* von Object und Bild ihre Vereinigungspunkte haben, die Sinus der Neigungswinkel beiderseits

Fig. 19.



entsprechender Strahlen gegen die Achse im ganzen Umfange beider Büschel ein constantes Verhältniss zeigen, d. h. wenn (Fig. 19)

$$\frac{\sin u^*}{\sin u} = \frac{\sin u_1{}^*}{\sin u_1} = \frac{\sin u_2{}^*}{\sin u_2} = \ldots = \frac{1}{N} \cdot \frac{n}{n^*}.$$

Diese Bedingung ist ohne Weiteres nur erfüllt für die beiden oben festgestellten zugeordneten abweichungsfreien Punkte, weil nur für diese $\frac{\sin u^*}{\sin u}$ für alle Strahlen constant, nämlich für das zweite Paar $\left(\text{da } \frac{\sin i}{\sin u} = \frac{n^*}{n}\right) = \frac{n^*}{n}$, für das erste Paar (wo $u^* = u$) $= 1$ ist, und die lineare Vergrösserung in diesen Punkten bestimmt sich nach der im Voranstehenden entwickelten Gleichung:

$$\frac{n^* \,.\, \sin u^*}{n \,.\, \sin u} = \frac{1}{N}.$$

für das zweite Paar

zu:
$$N = \frac{n}{n^*} \cdot \frac{\sin u}{\sin u^*} = \left(\frac{n}{n^*}\right)^2$$

für das erste Paar

zu:
$$N = \frac{n}{n^*}$$

Für alle anderen Punkte bleibt die Herstellung des richtigen Conver-

genzverhältnisses eine besondere Forderung an die Construction der optischen Systeme, welcher so weit als möglich Genüge zu leisten ist.

Wir ersehen hieraus, dass die deutliche Abbildung eines Flächenelementes noch nicht — wie man es bisher als selbstverständlich angenommen hat — durch die vollkommene Hebung der sphärischen Abweichung auf der Achse erreicht werden kann und das Vorhandensein des Aplanatismus die beiden Forderungen einschliesst, dass bei Aufhebung der sphärischen Abweichung in zugeordneten Punkten der Achse für Strahlenkegel von endlichem Divergenzwinkel zugleich Proportionalität der Sinus der Neigungswinkel zugeordneter Strahlen herbeigeführt werde.

Zugeordnete Punkte der Achse, in denen diese Bedingungen erfüllt sind, heissen nach dem von Prof. Abbe eingeführten Sprachgebrauche aplanatische Punkte.

Wie indessen die Achromasie nicht vollständig hergestellt werden kann, so ist es auch mit dem Aplanatismus der Fall. Die Einschränkung auf einzelne Punkte der Achse und einen unendlich klein gedachten Flächentheil, welche im Vorausgehenden gemacht wurden, machen auch eine wesentliche Voraussetzung des Begriffes aus.

Zweites Capitel.

Theorie des zusammengesetzten Mikroskopes.

I. Allgemeiner Typus und Constanten.

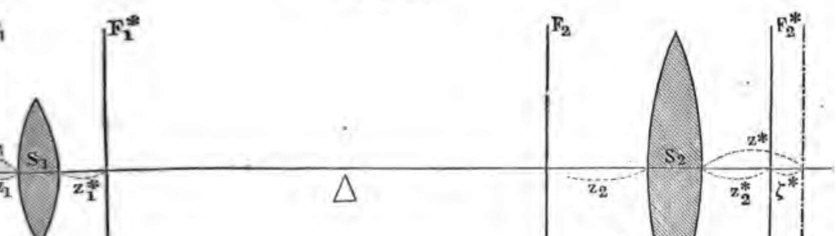
22 Das zusammengesetzte Mikroskop bildet ein optisches System, welches aus zwei collectiven Linsensystemen S_1 und S_2 (Fig. 20) besteht, durch welche der je einem von ihnen zugehörige Objectraum vor seiner vorderen Brennebene umgekehrt, derjenige hinter derselben aufrecht abgebildet wird. Beide Linsensysteme werden durch eine Röhre: den Tubus, mit einander verbunden und das dem Objecte zugewendete S_1 wird als Objectivsystem (Objectiv), das dem Auge zugekehrte S_2 als Ocular bezeichnet.

Die Constanten und Cardinalpunkte des Gesammtsystemes, sowie die Bedingungen der dioptrischen Wirkungsweise können aus den allgemeinen Zusammensetzungsformeln V. und VI. (S. 16 und 17) genau bestimmt werden.

Bezeichnen F_1, F_1^* die beiden Brennebenen des Objectivsystemes, F_2, F_2^* diejenige des Oculars, ferner:

f_1 die Brennweite des Objectivsystems,
f_2 „ „ „ Oculars,
$\triangle$ den Abstand der hinteren (oberen) Brennebene, F_1^* des Objectivsystems von der vorderen (unteren) Brennebene, F_2 des Oculars, welcher als die reducirte oder optische Tubuslänge bezeichnet werden soll,
f die Brennweite des ganzen Mikroskopes,
z_1 den Abstand der vorderen Brennebene des Objectivsystems von der Vorderfläche desselben,
z_2^* den Abstand der hinteren (oberen) Brennebene des Oculars von der Hinterfläche desselben,

Fig. 20.



ζ den Abstand der vorderen Brennebene des Mikroskopes von der Brennebene des Objectivsystems,
ζ^* den Abstand der hinteren Brennebene des Mikroskopes von der hinteren Brennebene des Oculars,
z und z^* die Abstände der vorderen und hinteren Brennebene des Mikroskopes je von der vorderen und hinteren Linsenfläche des Objectivsystems und Oculars, endlich
X die Weite deutlichen Sehens,

und wird f_1, f_2, $\triangle$, z_1 und z_2^* durch Beobachtung und Messung bestimmt, so können f, ζ und ζ^*, sowie z und z^*, d. h. die Brennweite des ganzen Mikroskopes, sowie die Lage seiner Cardinalpunkte, d. h. seiner Brennpunkte auf der Achse und damit der freie Objectabstand und der Abstand des Augenpunktes von dem Ocular, welche beide annähernd dem Werthe von z und z^* gleich sind (die Einstellungsebene liegt etwa in der vorderen, der Augenpunkt in der hinteren Brennebene des ganzen Instrumentes), endlich die Gesammtvergrösserung und die Grösse des Sehfeldes durch Rechnung gefunden werden.

Es ist dann nämlich:

$$f = -f^* = -\frac{f_1 f_2}{\triangle}$$

$$\zeta = -\frac{(f_1)^2}{\triangle},\ \zeta^* = \frac{(f_2)^2}{\triangle}$$

$$z = \zeta + z_1,\ z^* = \zeta^* + z_2^*$$

$$N = \frac{X}{f}$$

Die Bestimmung der Brennweiten von Objectivsystemen und Ocularen, sowie für Ermittelung der Lagen der Brennebenen F_1, F_1^* und F_2, F_2^*, also der optischen Tubuslänge und des z_1 und z_2^* soll später besprochen werden. Nehmen wir an, es seien durch Rechnung oder Messung gefunden:

$$f_1 = 26\,\text{mm},\ f_2 = 34\,\text{mm},\ \triangle = 140\,\text{mm}$$

$$z_1 = -\ 26\,\text{mm} \quad \text{und} \quad z_2^* = 6\,\text{mm}$$

dann finden wir:

$$f = -f^* = \frac{26\ .\ 34}{140} = 6{,}27\,\text{mm}$$

$$\zeta = -\frac{26^2}{140} = -\ 4{,}8\,\text{mm}$$

$$\zeta^* = \frac{34^2}{140} = 8{,}2\,\text{mm}$$

Die Summe $-(26 + 4{,}8)$ mm $= -$ 30,8 mm stellt nun den freien Objectabstand im Luftraume dar, welcher sich leicht auf ein anderes Medium und ebenso mit Rücksichtnahme auf das das Präparat bedeckende Deckglas zurückführen lässt. Hätte man z. B. bei der vorliegenden Zusammensetzung des optischen Apparates ein Deckglas von 0,3 mm angewendet, dessen Luftwerth = 0,2 mm beträgt, so würde der Abstand der Vorderfläche des Objectivsystemes von der Deckglasoberfläche 30,6 mm betragen. Und befände sich in einem anderen Falle bei einem freien Objectivstande von der Deckglasoberfläche von 0,80 mm in Luft zwischen dem Deckglase und der Vorderfläche des betreffenden Objectives Wasser, so würde letztere Zahl auf 1,33 . 0,80, also auf 1,06 zu erhöhen sein.

Da in dem Quotienten $\frac{(f_1)^2}{\triangle}$ die Grösse von $\triangle$ — ausser bei Objectivsystemen von sehr langen Brennweiten — keinen so grossen Einfluss hat, dass wenige Millimeter in Betracht kommen, so kann man bei Berechnung des freien Objectabstandes (resp. des ζ) für dessen Werth, d. h. für die optische Tubuslänge, auch geradezu die Rohrlänge setzen. Den bedeutendsten Einfluss auf die Grösse des freien Objectabstandes äussert die Entfernung der vorderen Brennebene F_1 von der Vorder-

fläche des Objectivsystemes und da diese bei verschiedenen Constructionsformen verschieden ausfällt, so ist leicht ersichtlich, dass Objectivsysteme aus verschiedenen Werkstätten bei gleicher oder nahezu gleicher Brennweite einen verschieden grossen Arbeitsabstand haben können.

Der Augenpunkt wird unter den vorausgesetzten Verhältnissen

$$(\zeta^* = 8{,}2 \text{ mm}, z_2^* = 6 \text{ mm})$$

um

$$z^* = 14{,}2 \text{ mm}$$

über der hinteren (oberen) Linsenfläche des Oculars liegend gefunden werden.

Die Gesammtvergrösserung des Mikroskopes: $\frac{X}{f}$ ist jetzt, wenn wir für f seinen Werth: $-\frac{f_1 \cdot f_2}{\triangle}$ einsetzen, gegeben durch die Gleichung

$$N = -\frac{X}{f_1} \cdot \frac{\triangle}{f_2} = \left(\frac{X}{f_1}\right) \cdot \left(-\frac{\triangle}{f_2}\right)$$

würde also in dem vorliegenden Falle — ohne Rücksicht auf das die umgekehrte Abbildung anzeigende Vorzeichen — sein

$$= \frac{250}{26} \cdot \frac{140}{34} = 39{,}8$$

Mit der Vergrösserung des zusammengesetzten Mikroskopes steht die Grösse des Sehfeldes, d. h. derjenige Flächentheil des Objectes, welcher von irgend einem angularen Gesichtsfelde auf einmal umfasst werden kann, in enger Beziehung.

Dasselbe hängt nämlich ausschliesslich von der Vergrösserungsziffer und von dem durch den Durchmesser des scheinbaren Gesichtsfeldes und dessen Abstand vom Augenpunkte gegebenen und leicht bestimmbaren Bildwinkel des benutzten Oculars ab und ist, wenn letzterer als constant angenommen wird — also für jedes bestimmte Ocular —, der Vergrösserung umgekehrt proportional, gleichgültig, ob diese durch verschiedene Objectivsysteme oder durch verschiedene Tubuslänge bewirkt wird. Bezeichnet man mit w den halben Bildwinkel des Oculars, mit X die deutliche Sehweite und mit D den Durchmesser des Objectfeldes, welcher N-mal vergrössert werde, so ist

$$D = 2 \cdot tg\, w \cdot \frac{X}{N}$$

Beträgt z. B. der Bildwinkel des Oculars 30° (der Tangente = 0,26 nahezu für den halben Winkel entsprechend) und sei die Vergrösserung eine 200malige, die angenommene Sehweite 250 mm, so ist:

$$D = 2 \cdot 0{,}26 \cdot \frac{250}{200} = 0{,}65 \text{ mm}$$

23 Nach der bisher üblichen Betrachtungsweise wird der Abbildungsvorgang in dem zusammengesetzten Mikroskope derart aufgefasst, dass das Objectivsystem von dem in seinem Objectraume befindlichen Objecte ein reelles vergrössertes und verkehrtes Bild in seinem Bildraume erzeuge, während das Ocular als Loupe wirkend, dieses in seinem Objectraume etwas hinter seiner vorderen Brennebene entworfene Bild in Gestalt eines aufrechten, nochmals vergrösserten virtuellen Bildes in die Weite deutlichen Sehens entwerfe. Diese schematische Zerlegung der Wirkungsweise mag für eine allgemeine Uebersicht genügen. Allein sobald es sich darum handelt, dass die dioptrische Zergliederung des Abbildungsvorganges die Grundlage schaffe für die genauere Bestimmung der einzelnen Factoren, welche bei ihm maassgebend sind, dann muss dieselbe, wie Professor Abbe in seinen verschiedenen Arbeiten schlagend nachgewiesen hat, nach zwei Seiten hin wesentlich erweitert werden. Zunächst muss an der Hand der allgemeinen Gesetze über die Strahlenbegrenzung in optischen Systemen überhaupt die Strahlenbegrenzung und der Strahlengang unter einem allgemeineren Gesichtspunkte aufgefasst werden. Dann aber hat eine andere in den Grundformeln des ersten Capitels, namentlich aber in der auf voriger Seite entwickelten Gleichung

$$N = \left(\frac{X}{f_1}\right) \cdot \left(-\frac{\Delta}{f_2}\right)$$

begründete schematische Zerlegung und eine daran anknüpfende eingehendere Charakteristik der Objectivwirkung und Ocularfunction Platz zu greifen, welche das Uebergewicht in der Leistungsfähigkeit des zusammengesetzten Mikroskopes gegenüber derjenigen des einfachen in das rechte Licht setzt und es ermöglicht, einestheils die Beschaffenheit der mikroskopischen Bilder auf ihre maassgebenden Factoren zurückzuführen, anderentheils eine Grundlage für die zahlenmässige Bestimmung gewisser Verhältnisse der Wirkung des Instrumentes zu gewinnen.

II. Strahlengang und davon abhängige Eigenschaften.

1. Allgemeine Betrachtung der Strahlenbegrenzung.

24 Von sämmtlichen von einem leuchtenden Punkte aus nach allen Richtungen des Raumes ausgesendeten Lichtstrahlen kann von Linsen und Linsensystemen, wie leicht begreiflich, nur ein kleinerer oder grösserer, begrenzter Theil, welcher als Strahlenkegel mit begrenztem Divergenzwinkel bezeichnet werden mag, aufgenommen werden. Bei einer freiliegenden Linse würde die Schnittfläche derselben die Grundfläche des ihr zugänglichen Strahlenkegels bilden. Bei unseren optischen Instrumenten, deren Linsen und Linsensysteme in bestimmter Weise gefasst erscheinen, muss immer irgend eine körperliche Oeffnung

vorhanden sein, welche den Lichtstrahlen den Zutritt gestattet und — welche Lage auch Object und Bild gegen einander haben mögen — die das letztere erzeugenden Strahlenkegel bei ihrem Eintritte in und bei ihrem Durchgange durch die Linse oder das Linsensystem begrenzt. Diese körperliche Oeffnung kann in verschiedenen Punkten der optischen Achse gelegen sein. Bei einer in Messing gefassten einfachen oder achromatischen (Doppel-) Linse wird sie durch den inneren Rand des Messingringes gebildet, welcher die Linse aufnimmt. Bei zusammengesetzteren Linsensystemen, wie sie bei dem Mikroskope vorzugsweise vorkommen, kann sie entweder von der Fassung der kleinsten Linse oder von irgend einer Diaphragmenöffnung vor, zwischen oder hinter den Linsen verwirklicht werden. Unter allen Umständen erscheint sie als eine kreisförmige, zu der Achse des Systemes concentrische Oeffnung von bestimmtem Durchmesser und bestimmter Lage ($J_1 J J_2$, Fig. 21). Sie bildet einen wesentlichen, für die Begrenzung der eintretenden Strahlenkegel und damit für die für unseren Zweck in Betracht kommenden Abbildungsvorgänge höchst wichtigen Bestandtheil jedes optischen Systemes, welcher eine besondere Betrachtung erheischt und von Professor Abbe mit kurzem und sehr bezeichnendem Namen als „Iris“ des Systemes in die Theorie der optischen Instrumente eingeführt worden ist.

Fig. 21.

Wenn es sich um Fragen über die anguläre Oeffnung oder den Oeffnungswinkel eines optischen Systemes und damit um tief in die Theorie und die Praxis des Mikroskopes und der mikroskopischen Wahrnehmung eingreifende Fragen handelt, muss die Bestimmung der Wirkung dieser physischen Oeffnung, d. h. der Iris — welches auch ihre Lage oder ihr physischer Ursprung sei — den Ausgangspunkt zu deren Erledigung bilden.

25

Durch einfache dioptrisch-geometrische Betrachtung und Construction lässt sich nachweisen, dass, auf welche Weise auch die Iris physisch hergestellt sei und welche Lage auf der Achse sie auch einnehme in jedem optischen Systeme, immer eine Kreisfläche von bestimmtem Durchmesser und von bestimmter Lage auf der Achse und innerhalb des Objectraumes vorhanden ist, welche die gemeinschaftliche Grundfläche aller der Strahlenkegel vorstellt, welche von den verschiedenen Punkten der Objectebene aus in das erstere eintreten.

Befindet sich die Iris vor dem System, so bildet sie selbst diese Kreisfläche ($J_1 J J_2$ Fig. 21). Liegt sie dagegen hinter (über) dem Hauptbrennpunkte des ganzen Systemes, beziehentlich des vor ihr befindlichen Theiles desselben (wie bei manchen Mikroskopobjectiven), oder tritt sie innerhalb des Systemes vor (unter) dem hinteren Hauptbrennpunkte der Vorderlinse auf, dann wird sie im ersteren Falle durch ein vor (unter) der Objectebene ($O_1 O O_2$ der Fig. 21) gelegenes reelles, im anderen durch ein hinter (über) der Objectebene erscheinendes virtuelles Bild ($P_1 P P_2$, Fig. 23, Seite 42) ersetzt, welches von ihr durch die zwischen Iris und Object gelegene Linse des Systemes in dem Objectraume entworfen wird und welches, falls es nicht in zu weiter Entfernung entworfen oder zu stark vergrössert wurde, ebensogut beobachtet und gemessen werden kann, wie jedes wirkliche Object.

Die allgemeingültige Begriffsbestimmung des Oeffnungswinkels eines optischen Systemes für jede beliebige Stellung des abzubildenden Objectes lautet demgemäss:

Der Oeffnungswinkel ist der Winkel eines gleichschenkligen Dreieckes ($P_1 O P_2$ der Fig. 23), dessen Scheitel der Achsenpunkt der Objectebene, dessen Grundlinie der lineare Durchmesser des aus der Iris des Systemes abgeleiteten Bildes ist.

Unter Verwendung der von Prof. Abbe für das reelle oder virtuelle Bild der Iris eingeführten, ebenso kurzen als treffenden Bezeichnung: „Eintrittspupille" kann man dieser Erklärung auch folgenden Ausdruck geben:

Der Oeffnungswinkel ist der in dem axialen Objectpunkte gelegene Winkel eines gleichschenkligen Dreieckes, dessen Grundlinie von dem linearen Durchmesser der Eintrittspupille gebildet wird, oder mit anderen Worten: Der Oeffnungswinkel ist der auf die Objectebene bezogene anguläre Durchmesser der Eintrittspupille des Systemes.

26 Betrachten wir die nicht minder wichtige, mit manchen Fragen über die Wirkung der Oeffnung eng verknüpften Begrenzung der Strahlenkegel, welche von dem optischen Systeme aus zu dem Bilde hinübertreten, so ist hier wie vorhin immer eine der Beobachtung ebenfalls zugängliche bestimmte Kreisfläche ($P_1^* P^* P_2^*$ der Fig. 23) vorhanden, welche die gemeinschaftliche Grundfläche bildet für alle Strahlenkegel, welche im Bildraume nach den einzelnen Punkten des Bildes hinzielen. Diese Kreisfläche, welche Professor Abbe als „Austrittspupille" bezeichnet, kann in ähnlicher Weise von der wirklichen Iris des Systemes abgeleitet werden wie die Eintrittspupille. Sie kann mit der Iris zusammenfallen, wenn diese ausserhalb des Systemes und hinter den Linsen gelegen ist. In der Regel indessen wird sie ein reelles oder virtuelles Bild der Iris sein, welches von dem hinter ihr liegenden

Theil des Systemes in dem Bildraume entworfen wird, wie in der oben angezogenen Figur.

Wir haben nun also in Bezug auf die Bestimmung der Wirkung eines optischen Systemes zwei Pupillen in Betracht zu ziehen, welche beide ihre Entstehung einer wirklichen, in der Construction gegebenen Eintrittsöffnung verdanken, von denen aber jede von einem anderen Theile des optischen Systemes entworfen wird und in einem anderen zu diesem in Beziehung stehenden Raumabschnitte erscheint. Zwischen beiden Kreisflächen besteht die allgemeine und einfache aus der Fig. 23 auf S. 42 ersichtliche Beziehung, dass alle Strahlen, welche in derselben von den einzelnen Punkten der Objectebene aus und in dem Objectraume nach einem Punkte der Eintrittspupille $P_1 P P_2$ hinzielen, nach ihrem Durchgange durch das System auch von einem Punkte der Austrittspupille $P_1{}^* P^* P_2{}^*$ aus nach der Bildebene divergiren. Diese Thatsache ist darin begründet, dass je ein Punkt der Eintrittspupille und je ein entsprechender Punkt der Austrittspupille sich beide von ein und demselben Punkte der Iris $J_1 J J_2$ ableiten lassen.

Ist eine der beiden Pupillen — Eintrittspupille oder Austrittspupille — gegeben, so kann die andere bestimmt werden, ohne dass man auf die Iris zurückzugreifen braucht. Man construirt dann einfach das Bild der einen so, als ob es von dem ganzen Systeme unter der Voraussetzung entworfen werde, dass die andere ein wirkliches Object vorstelle.

Das Ergebniss der bisherigen Darlegungen besteht darin, dass ein neues Element in die Theorie der optischen Instrumente eingeführt wird, durch welches die Wirkung derselben in Beziehung auf die Begrenzung der abbildenden Strahlenkegel genau bestimmt werden kann. Da diese Begrenzung, welche stets einen wesentlichen Factor in der Wirkung irgend welcher Linsensysteme bildet, nicht hinreichend bestimmt erscheint, wenn man lediglich Object- und Bildebene in Betracht zieht, so muss noch ein anderes Paar von Ebenen, nämlich die Ein- und Austrittspupille, herangezogen werden. Sie können — wie wir gesehen haben — eingeführt werden, entweder dadurch, dass man die Iris des betreffenden Systemes feststellt und daraus die beiden Pupillen ableitet, oder indem man die eine dieser letzteren setzt und die andere als ihr Bild bestimmt. 27

Alle die vorausgehenden Entwickelungen finden unbeschränkte Anwendung bei jedem Medium, welches im Object- oder im Bildraume vorausgesetzt werden mag. Befindet sich z. B. — wie bei Immersionssystemen — vor dem optischen Systeme ein anderes Medium als Luft, so beziehen sich die Bestimmungen der Eintritts- und Austrittspupille auf dieses und es gilt diese Behauptung auch für jede weitere Substanz, ja für mehrere Schichten verschiedener Substanzen, welche sich vor der Vorderfläche des betreffenden Systemes befinden mögen, wenn dieselben nur durch ebene, zur optischen Achse senkrechte Flächen von dem ursprünglich in Wirksamkeit tretenden Medium getrennt werden. Die

Zwischenlagerung solcher Substanzen ändert weder die Brennweite noch die Vergrösserung des Systemes und berührt, wenn die Schichten keine merkbare Dicke besitzen, selbst nicht einmal die Verbesserungen der Abbildungsfehler. Nun treten bei dem gewöhnlichen Gebrauche des Mikroskopes überall solche parallele, auf die von dem Objecte aus zu dem Objectivsysteme hinübertretende Strahlen wirkende Schichten — Aufbewahrungsmittel, Deckglas, Medium zwischen diesem und der Vorderfläche des Objectivsystemes und selbst die Substanz der Vorderlinse, falls dieselbe eine ebene Vorderfläche besitzt — auf und es kann eine jede dieser Schichten als dasjenige Medium betrachtet werden, für welches die Art und Weise der Strahlenbegrenzung, d. h. der Oeffnungswinkel, bestimmt werden soll. Es entsteht somit die Frage, welches ist die Beziehung zwischen den Angaben über die Winkelöffnung eines und desselben Systemes für verschiedene Medien und es beantwortet sich diese dahin, dass die Winkel, welche sich auf verschiedene Medien beziehen, die Oeffnung ein und desselben Systemes immer dann angeben, wenn die Sinus derselben zu den betreffenden Brechungsindices im umgekehrten Verhältnisse stehen.

Dieser Satz hat indessen nur Geltung, wenn die Begrenzung der Strahlenkegel in den verschiedenen Medien stets durch die ursprüngliche Iris des Systemes bewirkt wird. Nun ist aber diese Bedingung immer dann nicht erfüllt, wenn die Iris eines Systemes so gross ist, dass dieselbe in einem Medium von bestimmtem Brechungsindex einem Oeffnungswinkel entspricht, dessen Hälfte den Winkel der Totalreflexion im Uebergange zu einem weniger stark brechenden Medium — etwa Luft — übertrifft. In solchem Falle kann nämlich kein Bild der Iris in dem letzten Medium entworfen werden und die Begrenzung der Strahlenkegel durch die ursprüngliche Iris geht verloren. Die Sinusregel ist sonach nicht anwendbar, um den Oeffnungswinkel für das betreffende Medium zu bestimmen, da sie einen die Einheit überschreitenden Sinus und damit einen imaginären Winkel ergeben würde.

Da diese Thatsache in der Frage über die Oeffnung der Objectivsysteme viel Verwirrung und Streit verursacht hat und da sie immer in Wirksamkeit tritt, wenn man trocken eingelegte Objecte mittelst Immersionssystemen von grossem Oeffnungswinkel beobachtet, darf dieselbe hier nicht unerörtert bleiben.

Sei $S_1 S_2$, Fig. 22, ein solches System mit der Iris $J_1 J J_2$, welches innerhalb eines bestimmten Mediums mit dem Brechungsindex n vor der Vorderfläche einen halben Oeffnungswinkel w ergiebt, dessen Werth denjenigen des Winkels der Totalreflexion (v) von diesem Medium aus nach der Luft überschreitet, bezeichne ferner O den Objectpunkt innerhalb dieses Mediums, O^* den zugeordneten Bildpunkt und es werde vorausgesetzt, dass das Medium von der Schicht $= n$ aus Luft bestehe und von ihr durch eine zur Achse senkrechte ebene Fläche T getrennt sei, wie z. B. bei trocken eingelegten, sehr dünnen miksoskopischen Prä-

paraten (Diatomeenschalen, Insectenschuppen u. dergl.), wo das Medium $= n$ durch eine äusserst dünne, durch parallele Ebenen begrenzte Luftschicht von der Vorderfläche des Objectivsystemes getrennt erscheint, dann ergiebt sich Folgendes: Da kein Lichtstrahl durch irgend ein

Fig. 22.

System nach einer Richtung hindurchgehen kann, welcher nicht auch in der entgegengesetzten Richtung dasselbe zu durchlaufen vermöchte, werden alle von dem Objectpunkte O in Luft ausgehende Strahlen von dem Bildpunkte O^* ausgeschlossen, welche nicht durch den mittleren

freien Theil der Iris $K_1 K_2$ gegangen sind und ebenso müssen alle Strahlenkegel, welche von Luft aus durch das System nach irgend welchen Punkten des Bildfeldes übergehen können, nach ihrem Eintritt in das Zwischenmedium $= n$ den gemeinschaftlichen Oeffnungswinkel $2\,v$ für dieses Medium ergeben.

Dieser Oeffnungswinkel $2\,v$ beträgt unter den vorausgesetzten Umständen natürlich 180^0 und die sämmtliche Strahlenkegel begrenzenden Strahlen verlaufen innerhalb des Mediums $= n$ unter einander parallel, also so, als ob sie nach dem Umfange einer in unendlicher Entfernung gelegenen Eintrittspupille hinzielten. Nach ihrem Durchgange durch das System müssen sie sich aus diesem Grunde in einem bestimmten Punkte i_1 oder i_2 kreuzen, der da liegt, wo sich der Vereinigungspunkt eines parallelstrahligen Lichtbüschels, oder das Bild eines unendlich weit entfernt leuchtenden Punktes befinden würde, d. h. in der hinteren Brennebene des Systemes.

Im Gefolge dieser Thatsache werden alle Strahlenbüschel, welche von Luft aus Zutritt zu der Bildebene finden, von einer Kreisfläche $i_1 i_2$ von bestimmtem linearem Durchmesser gerade so begrenzt, als ob an ihrer Stelle eine wirkliche Blendung mit gleichem Durchmesser eingesetzt worden wäre. An Stelle der ursprünglichen Iris ist also in der hinteren Brennebene eine durch die Wirkung der Zurückwerfung an der Ebene T erzeugte neue Iris von bestimmtem Durchmesser zu setzen, welche füglich als stellvertretende Iris bezeichnet werden kann. Dieselbe ändert weder Ort noch Durchmesser, wenn die einander zugeordneten Object- und Bildpunkte O und O^* an verschiedene Orte der optischen Achse verlegt werden.

Die betrachtete Erscheinung kann leicht mittelst eines der hier in Frage kommenden Objectivsysteme beobachtet werden. Wirft man nämlich mittelst eines Immersionscondensors von gleicher oder grösserer Oeffnung als diejenige des Objectives, z. B. mittelst des später zu besprechenden Abbe'schen Beleuchtungsapparates, den vollen Lichtkegel in das System, indem man die Hinterfläche der Beleuchtungslinse und die Vorderfläche des letzteren durch eine Wasserschicht (oder Oelschicht bei Objectivsystemen für homogene Immersion) verbindet, so erscheint, wenn man das Ocular entfernt und mit freiem Auge in den Tubus sieht, die volle Iris, oder die daraus abgeleitete Austrittspupille als ein heller Kreis. Schaltet man dann aber zwischen die genannten Flächen eine so dünne Luftschicht ein, dass sie die Strahlen von äusserster Schiefe nicht abschneidet, so erscheint die Austrittspupille — hier die stellvertretende Iris selbst — als ein verkleinerter von einem dunklen Ringe umgebener Kreis, welcher stets in der Bildebene weit entfernter Gegenstände, d. h. in der hinteren Brennebene des betreffenden Objectivsystemes auftritt.

28 Da, wie aus den voranstehenden Betrachtungen hervorgeht, der Oeffnungswinkel stets als Winkel an der Spitze eines gleichschenkligen

Dreiecks erscheint, dessen Scheitel der Achsenpunkt der Objectebene, dessen Grundlinie der Durchmesser der Eintrittspupille bildet, so muss sich dieser Winkel ändern, sobald die Eintrittspupille ihre Stellung und ihren Durchmesser ändert, oder der Objectpunkt einen anderen Ort auf der Achse einnimmt.

Nun ist die Lage des Objectpunktes bei dem Mikroskope durch die für das Zusammenwirken seiner optischen Theile geforderte Lage der Bildebene bedingt und muss in dem Maasse von Einfluss werden, als bei der hier ungeänderten Lage der Eintrittspupille die Entfernung zwischen dieser und dem ersteren eine grössere oder kleinere wird. Wenn die Eintrittspupille in beträchtlicher Entfernung von dem Objectpunkte auftritt, was der Fall, wenn die Iris der hinteren Brennebene des Systemes oder seines vorderen Theiles (S_1 Fig. 23, a. f. S.) sehr nahe liegt, dann ist das System nicht sehr empfindlich. Eine Verschiebung des Objectpunktes wird also keine merkliche Veränderung des Oeffnungswinkels im Gefolge haben. Wenn aber die Iris von diesem Brennpunkte weit abliegt — sei es vor oder hinter demselben — und demnach die Eintrittspupille als ein reelles oder virtuelles Bild der Iris in der Nähe der Objectebene erscheint, dann ändert sich der Oeffnungswinkel merkbar, wenn der Objectpunkt dem Systeme genähert oder von ihm entfernt wird, wie es z. B. geschieht, wenn man den Tubus verlängert oder verkürzt.

Hieraus ergiebt sich die Unrichtigkeit aller derjenigen Erklärungen für den Oeffnungswinkel, welche auf den Begriff des sogenannten nutzbaren Theiles der lichten Vorderfläche des betreffenden Systemes und andere ähnliche Merkmale gegründet sind, indem keine einzige der auf solchen Grundlagen aufgebauten Anschauungen mit den obigen Thatsachen in Einklang gebracht werden kann.

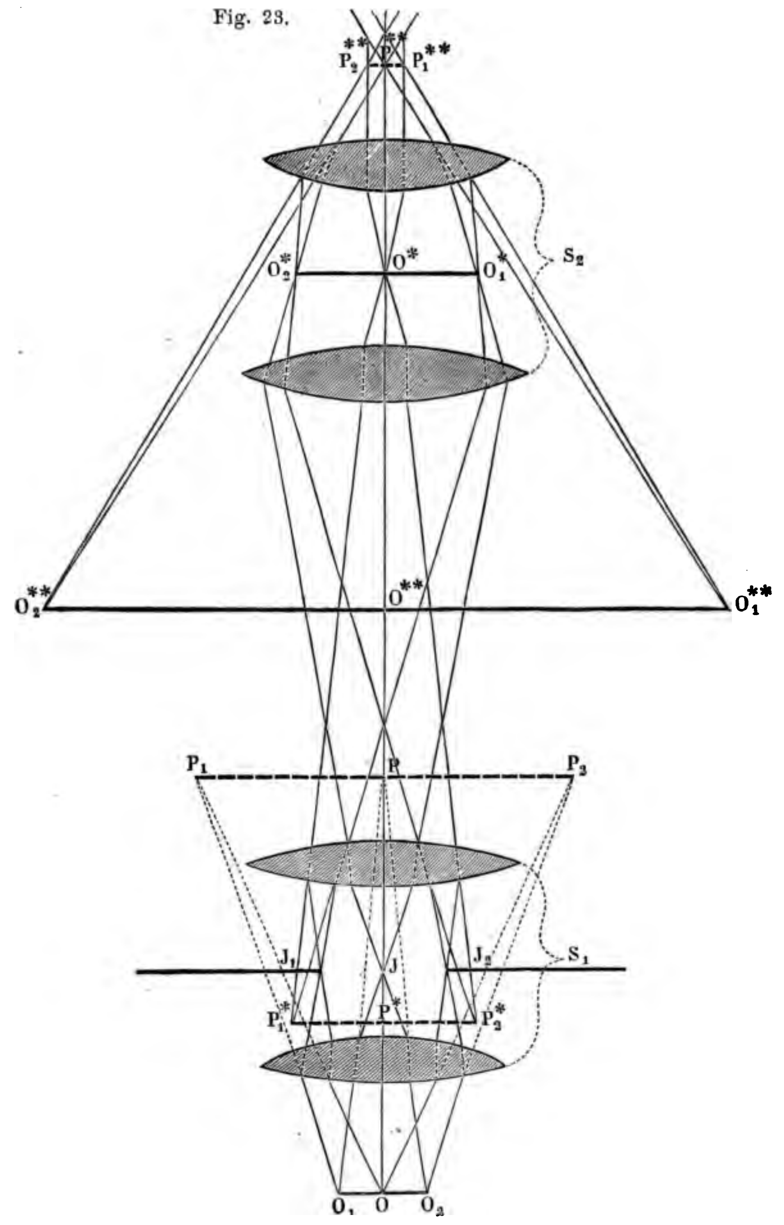
2. Strahlengang im zusammengesetzten Mikroskope.

29 Wenden wir uns nun zu dem Strahlengange in dem zusammengesetzten Mikroskope, so verwirklicht derselbe den besonderen Fall in der eine vierfach verschiedene Lage auf der Achse umfassenden Folge von Objectebene, Bildebene, Eintrittspupille und Austrittspupille, welcher eintritt, wenn Objectivsystem und Ocular als ein optisches System angesehen werden, welches im Zusammenwirken beider Glieder ein virtuelles Bild in der deutlichen Sehweite entwickelt.

Sei, und zwar unter Voraussetzung von nur durch die Iris des Objectivsystemes begrenzten, also von so weiten eintretenden Strahlenkegeln, als die freie Objectivöffnung aufnehmen kann, S_1 (Fig. 23, a. f. S.) das Objectivsystem, S_2 das Ocular des Mikroskopes, $J_1 J J_2$ die innerhalb des hinteren Brennpunktes der vorderen Objectivlinse befindliche Iris, $O_1\, O\, O_2$ das Object, $O_1{}^*\, O^*\, O_2{}^*$ das reelle vom Objectiv und der Vorderlinse des Oculars zusammen erzeugte und $O_1{}^{**}\, O^{**}\, O_2{}^{**}$ das virtuelle Bild in

der deutlichen Sehweite X, so lassen sich die Ein- und Austrittspupille $P_1 P P_2$ und $P_1{}^* P^* P_2{}^*$ des Objectivsystemes, sowie die Austrittspupille

Fig. 23.



des ganzen Systemes $P_1{}^{**} P^{**} P_2{}^{**}$ leicht construiren. Die letztere erscheint dann nach Vollzug der Construction in einem kleinen Abstande

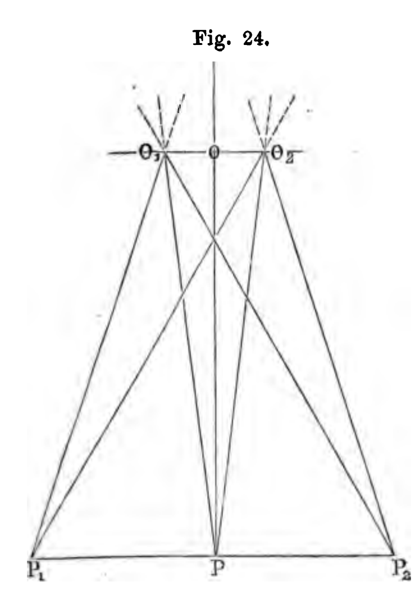
hinter dem Ocular S_2, ist jedem Mikroskopiker als kleiner heller Kreis in dem sogenannten „Augenpunkte“ des Oculars bekannt und kann als in dreifach verschiedener Weise entstanden angesehen werden. Man kann sie nämlich betrachten als das reelle Bild der Iris, der Austrittspupille oder der Eintrittspupille des Objectivsystemes. Im ersten Falle ist dieses Bild durch Zusammenwirken von Ocular S_2 und hinterem Theil des Objectivsystemes S_1, im anderen durch das Ocular S_2 allein, im letzteren endlich ist es von dem ganzen System $S_1 + S_2$ entworfen.

3. Begrenzung der Strahlenkegel durch den Beleuchtungsapparat.

Unter den bei dem zusammengesetzten Mikroskope thatsächlich vorliegenden Verhältnissen, wobei durchsichtige oder theilweise durchsichtige Körper mittelst einer vor oder unter ihnen befindlichen Lichtquelle leuchtend gemacht werden, gestaltet sich die Begrenzung der abbildenden Strahlenkegel meist etwas anders, da nun die mittelbar lichtgebende Fläche, d. h. die Fläche des Spiegels oder der Blendungsöffnung, als stellvertretende Eintrittspupille zur Wirksamkeit gelangt und demgemäss engere, von der Ausdehnung der Lichtquelle abhängende Strahlenkegel in das optische System eintreten, als der vollen Oeffnung entsprechend. 30

Nehmen wir zunächst an, es werde die Lichtquelle durch eine unmittelbar lichtstrahlende Fläche $P_1 P P_2$ (Fig. 24) vor oder unter der Objectebene $O_1 O O_2$ gebildet, so lassen sich für die Beleuchtung der letzteren leicht folgende grundlegende Sätze ableiten.

Fig. 24.



Erstens: Alle von der lichtstrahlenden Fläche ausgehenden, je einen Punkt der Objectebene, z. B. O_1 O_2, treffende Strahlen bilden ein convergirendes Büschel und werden von diesem Punkte aus stets in Gestalt eines divergirenden Büschels nach dem Objectivsysteme weiter gesendet. Wird nun die leuchtende Fläche als unbegrenzt gedacht, so hängt die Winkelöffnung des wirksam werdenden Beleuchtungskegels nur von der Oeffnung des Objectivsystemes ab; erscheint dagegen jene in irgend einer Weise begrenzt, so füllt der Beleuchtungskegel die Objectivöffnung immer dann nicht mehr aus,

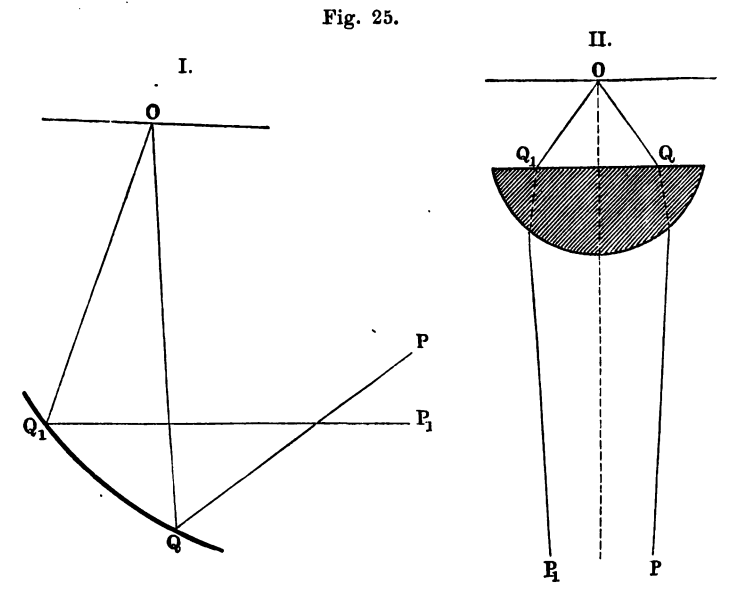
der angulare Durchmesser der lichtstrahlenden Fläche kleiner wird, als der Oeffnungswinkel des Objectivsystemes.

Zweitens: Alle Strahlen, welche von je einem Punkte der Lichtquelle aus die verschiedenen Punkte $O_1\ O\ O_2$ der Objectebene treffen, sind stets divergirende, können aber praktisch stets als annähernd parallele angesehen werden, weil bei mikroskopischen Objecten die Ausdehnung von $O_1\ O\ O_2$ dem Abstande der leuchtenden Fläche gegenüber immer sehr klein bleibt. Damit ist aber gesagt, dass die auf die einzelnen Objectpunkte treffenden Strahlenkegel überall die gleiche Strahlenmenge umfassen werden, das Objectfeld also in seiner ganzen Ausdehnung als vollkommen gleichmässig beleuchtet erscheinen muss.

Bei dem normalen Gebrauche des Mikroskopes wird nur in seltenen Ausnahmefällen die in Frage kommende Lichtquelle von einer unmittelbar lichtstrahlenden Fläche gebildet. Es kommt vielmehr in der Regel eine besondere, entweder aus Hohl- und Planspiegel allein oder aus Spiegel und Beleuchtungssystem („Condensor") bestehende Beleuchtungsvorrichtung zur Verwendung, welche die von einer vorläufig als unbegrenzt gedachten Lichtquelle ausgehenden Lichtstrahlen dem zu durchleuchtenden Gegenstande zuführt.

Wenn nun ein Punkt O (Fig. 25 I. und II.) durch Vermittelung einer reflectirenden oder brechenden Fläche von dem Punkte P einer

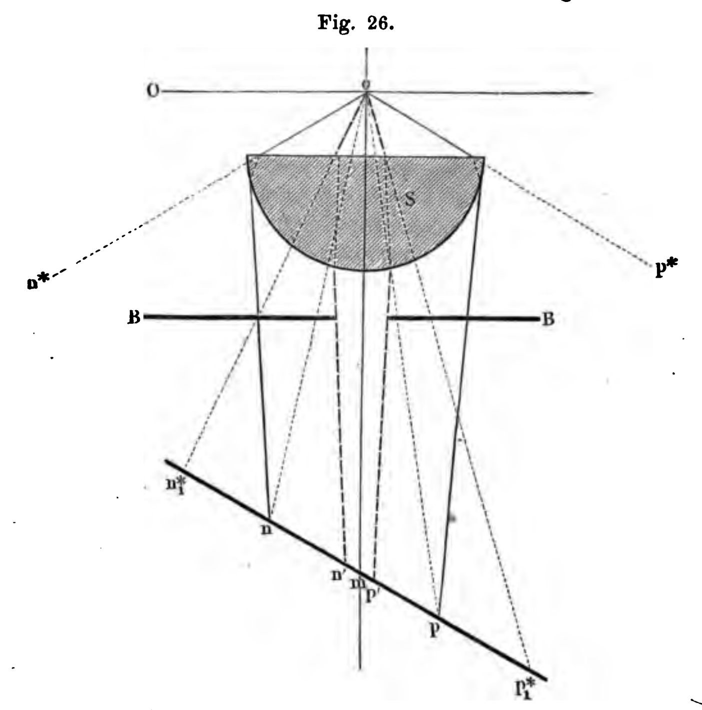
Fig. 25.



unmittelbar leuchtenden Fläche einen Lichtstrahl zugesendet erhält, so hat dieser Strahl — insofern als von dem Lichtverluste durch Zurückwerfung oder Brechung abgesehen wird — ganz dieselbe Leuchtkraft, wie wenn er O von P aus unmittelbar erreicht hätte. Es wird sonach

die **Leuchtkraft** der Lichtquelle an den Stellen $P P_1 \ldots$ auf die Stellen $Q Q_1 \ldots$ der zurückwerfenden oder brechenden Fläche einfach übertragen und die Wirkung in O ist dieselbe, wie wenn eine andere Lichtquelle $Q Q_1$ in der vorher erörterten Weise unmittelbar leuchtete. Diese **entlehnte Leuchtkraft** besteht indessen nur an solchen Punkten Q der **reflectirenden** oder brechenden Fläche, von welchen aus Strahlen wirklich nach dem Punkte O zurückgeworfen oder gebrochen werden, d. h. von welchen umgekehrt von O aus rückwärts verfolgte Strahlen nach

Fig. 26.



den Gesetzen der Zurückwerfung oder Brechung auf die Lichtquelle treffen würden.

Jede Vorrichtung obiger Art wirkt demgemäss in ihrer mittelbar lichtgebenden Fläche immer wie eine vor oder unterhalb der Objectebene befindliche selbstleuchtende Fläche und jeder Punkt jener Fläche wie ein selbstleuchtender Punkt, dessen Leuchtkraft von seiner Neigung gegen die Achse des Mikroskopes völlig unabhängig ist, von dem es also gleichgültig bleibt, ob er einer ebenen oder gekrümmten Fläche (einem Hohl- oder Planspiegel) angehört. Ebenso wird ein bestimmtes durchsichtiges Flächenelement der Objectebene wie in dem vorigen Falle immer von einem nach ihm hin convergirenden, nach dem Objectivsysteme hin aber divergirenden Strahlenkegel durchleuchtet, dessen Grundfläche und Winkelöffnung nur durch die wirkliche, von der Grösse des Spiegels

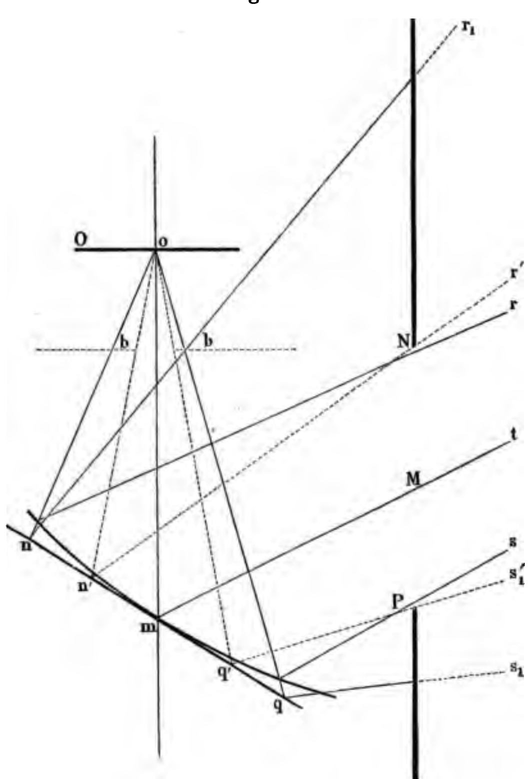
abhängende oder relative, durch die Entfernung des Spiegels von der Objectebene, wie durch Zwischenschieben einer Linse oder einer Blendung veränderbare Ausdehnung der mittelbar lichtgebenden Fläche — gleichgültig, ob Hohl- oder Planspiegel oder Beleuchtungslinse — bestimmt ist. Die erstere hängt allein von der Grösse des Spiegels ab. Die andere aber wird bei gleichem Durchmesser des Spiegels grösser bei dessen Annäherung an, kleiner bei seiner Entfernung von der Objectebene; sie kann ferner durch eine zwischen Spiegel und Objectebene eingeschobene — wie aus den rückwärts verlängerten, in dem Objectpunkte O convergirenden Strahlen hervorgeht, in ihrer Wirkung einer entsprechenden Vergrösserung der Spiegelfläche gleichkommende — Linse, Fig. 26 (a. v. S.), erweitert und in beiden Fällen, d. h. bei der einfachen wie bei der zusammengesetzten Vorrichtung durch eine eingeschaltete Blendung BB in beliebigem Maasse beschränkt werden. In letzterem Falle kommt zunächst die Entfernung des Spiegels ausser Betracht; es bleibt aber ebenso seine Grösse ohne Einfluss, sofern dessen Umfang nicht innerhalb der Grösse der durch die gegebene Blendungsöffnung bestimmten Grundfläche des Lichtkegels liegt, welcher für e i n e n Punkt der Objectebene wirksam wird.

Wird die ursprüngliche Lichtquelle, wie es beim regelrechten Gebrauche des Mikroskopes, wo wir in der Grösse der Fensteröffnung, in der Ausdehnung einer gleichmässig lichtreflectirenden Stelle des Himmels, einer weissen Wand u. dergl. gewisse Schranken finden, der Fall ist, eine begrenzte, so gestalten sich die Verhältnisse etwas anders. Nehmen wir z. B. an, es werde die gedachte unmittelbare Lichtquelle durch eine Oeffnung PMN, Fig. 27, begrenzt, so treffen nur von dieser Oeffnung — oder im anderen Falle von der beschränkten Lichtquelle selbst — umfasste Lichtstrahlen noch auf die Fläche des Spiegels. Unter diesen Umständen ergiebt sich die Wirkung des Hohl- oder Planspiegels sofort, wenn wir die drei von dem Objectpunkte O aus nach Mitte und Rand des letzteren hinzielenden und von da aus zurückgeworfenen Strahlen on, om und oq nach rückwärts verfolgen. Wir finden dann, dass, während der Achsenstrahl von beiden Spiegeln in der gleichen Richtung mt zurückgeworfen wird, die Randstrahlen des Beleuchtungskegels von dem Hohlspiegel in den Richtungen nr und qs, von dem Planspiegel in den Richtungen nr_1 und qs_1 abgelenkt erscheinen. Die ersteren gehen dabei bis zur Lichtquelle ungehindert fort, während die letzteren von dem begrenzenden Schirm aufgefangen werden. Während also der Hohlspiegel mit seiner vollen Flächenausdehnung für die Beleuchtung wirksam bleibt, ist dies nur für einen verhältnissmässig kleinen Theil des Planspiegels, nämlich für die Fläche von dem Durchmesser $n'q'$ der Fall. Es wird sich also die Beleuchtung durch den Planspiegel unter der gemachten Annahme in ihrer Intensität zu derjenigen des Hohlspiegels gerade so verhalten, als ob wir den angulären Durchmesser des von dem letzteren gelieferten Beleuchtungskegels durch die zwischengeschobene Blendung bb be-

schränkt hätten. Der Vortheil des Hohlspiegels besteht sonach unter diesen Umständen darin, dass derselbe im Vergleiche zum Planspiegel so wirkt, als ob eine ausgedehntere Lichtquelle zur Verfügung gestellt wäre.

In gleicher Weise gestaltet sich, wie aus der Betrachtung der Fig. 26 hervorgeht, die Leistung einer Beleuchtungslinse oder eines Beleuchtungssystemes. Sie gestatten bei verhältnissmässig beschränkter Lichtquelle oder beschränkter Spiegelfläche eine ihrer Oeffnung und Brenn-

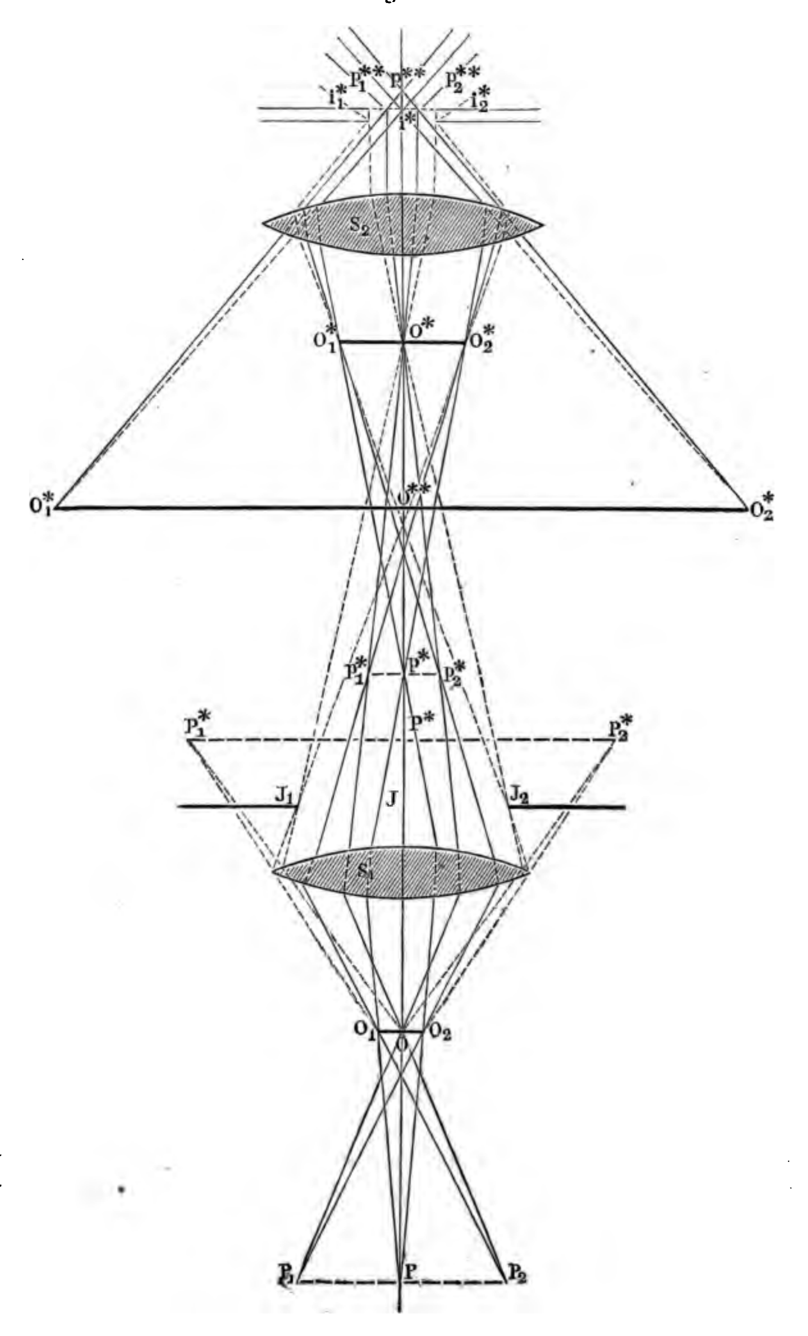

Fig. 27.



weite entsprechende, grosse Winkelausbreitung des Beleuchtungskegels (der Beleuchtungskegel $n\,o\,p$ z. B. wird in den Kegel $n^*\,o\,p^*$ übergeführt), welche ihre Grenze da findet, wo die von einem Punkte der Objectebene aus rückwärts verfolgten Randstrahlen nicht mehr die ursprüngliche Lichtquelle erreichen.

Ist der Oeffnungswinkel des Beleuchtungskegels gleich dem durch die Eintrittspupille bestimmten Oeffnungswinkel des Objectivsystemes, oder wird er grösser als dieser, so bleiben die Verhältnisse so wie früher, 31

Fig. 28.



d. h. so als ob das Object nach allen Richtungen hin Licht ausstrahle und die mittelbare lichtgebende Fläche (Spiegel, Beleuchtungslinse oder Blendungsöffnung) äussert keinen Einfluss. Ist dagegen der Oeffnungswinkel kleiner als derjenige des Objectivsystemes, so hören die ursprüngliche Iris $J_1 J J_2$ sowie die daraus abgeleitete Eintrittspupille $P_1 P P_2$ auf zu wirken und es tritt eine gegen die vorhin betrachtete geänderte Begrenzung der abbildenden Strahlenkegel ein.

Stellt S_1, Fig. 28, wieder das Objectivsystem, S_2 das Ocular und $P_1 P P_2$ die durch eine über dem Spiegel oder der Beleuchtungslinse angebrachte Blendung hergestellte lichtgebende Fläche vor und ist das Mikroskop auf einen durchsichtigen Gegenstand eingestellt, so kann kein Lichtstrahl in das Objectivsystem eintreten, welcher nicht durch die Blendung gegangen ist und wir haben die von den Punkten $P_1 P P_2$ aus- und durch das Object $O_1 O O_2$ und das optische Gesammtsystem hindurchgehenden Strahlen zu verfolgen. Wir erhalten dabei zunächst hinter dem Objectivsysteme ein reelles Bild von der Fläche $P_1 P P_2$, welche jetzt die stellvertretende Iris des Objectivsystemes bildet, in $p_1{}^* p^* p_2{}^*$, welches als Grundfläche der nach den einzelnen Bildpunkten $O_1{}^* O^* O_2{}^*$ convergirenden Strahlenkegel erscheint und somit als stellvertretende Austrittspupille thätig wird. Von ihr entwirft ferner das Ocular S_2 ein wieder umgekehrtes (also von der lichtgebenden Fläche ein aufrechtes) reelles Bild $p_1{}^{**} p^{**} p_2{}^{**}$, welches die Austrittspupille des ganzen Mikroskopes in Bezug auf die lichtgebende Fläche vorstellt, dieser in Rücksicht auf das Gesammtsystem zugeordnet erscheint und in Folge des im Verhältnisse zu z grossen Abstandes der Fläche $P_1 P P_2$ von O in oder nahe an dem hinteren Hauptbrennpunkte F^* auftritt. Wir ersehen hieraus, dass nunmehr die Strahlenbegrenzung innerhalb des Mikroskopes sich so gestaltet, als ob das Objectivsystem statt seines wirklichen Oeffnungswinkels einen kleineren besässe.

Dieselbe Schlussfolgerung, welche hier für die Lage der Blendungsöffnung in der Achse durchgeführt wurde, gilt auch dann, wenn $P_1 P P_2$ in derselben Ebene ausserhalb der Achse genommen wird. In diesem Fall könnte man einfach zuerst eine weitere Blendungsöffnung in der Achse in Betracht ziehen, welche die engere als eine excentrische Oeffnung in sich fasste. Die Austrittspupillen $p_1{}^* p^* p_2{}^*$ und $p_1{}^{**} p^{**} p_2{}^{**}$ würden dann als die zugeordneten Theile der von dem Objectivsysteme und dem ganzen Mikroskope entworfenen Bilder der weiteren Oeffnung zu betrachten sein, und in derselben Ebene wie vorher, aber in einer excentrischen Stellung auftreten (Fig. 29). Die Strahlenkegel, welche von den einzelnen Objectpunkten ausgehen, würden jetzt schiefe Strahlenkegel, welche von dem Systeme insoweit aufgenommen werden können, als sie von dessen Oeffnungswinkel umfasst werden, oder nach dem wirk-samen Theile der ursprünglichen Eintrittspupille $P_1 P P_2$ hinzielen.

Fig. 29.

Die eben erörterten Wirkungen bleiben ganz die gleichen, wenn die Blendung entfernt gedacht und der Plan- oder Hohlspiegel für sich in centrischer oder excentrischer Stellung verwendet wird. Die lichtstrahlende Fläche des Spiegels von beliebiger Gestalt wird als Eintrittsöffnung fungiren und die betreffenden Bilder derselben die Austrittspupille des Objectives, beziehentlich des ganzen Mikroskopes bilden. Alle Strahlen, welche in den einzelnen Bildpunkten vereinigt werden, erscheinen als Strahlenkegel, welche von dem reellen Bilde des Spiegels über dem Systeme ausgehen, welche aber, insofern dieses ausserhalb der Achse liegt, nur insoweit Zutritt erlangen, als sie von solchen Strahlenkegeln umfasst erscheinen, welche von der ursprünglichen Iris oder Austrittspupille des Systemes begrenzt werden.

Die Wirkung eines beliebigen, zusammengesetzten Beleuchtungsapparates kann durch ähnliche Betrachtungen, d. h. durch Einführung einer stellvertretenden Eintrittspupille von bestimmter Gestalt und bestimmter Lage zu der Achse und der daraus abgeleiteten Austrittspupille erklärt werden.

Neben dem Bildchen $p_1^{**} p^{**} p_2^{**}$ tritt aber, wenn wir noch die nur durch die Iris $J_1 J J_2$ des Objectivsystemes begrenzten, durch die einzelnen Objectpunkte hindurchgetretenen nicht von der Lichtquelle (sondern etwa von der Umgebung dieser letzteren oder des Mikroskopes) ausgegangenen nicht etwa durch eine Blendung abgehaltenen Strahlen verfolgen, ein zweites und zwar das Bild der physischen Oeffnung $i_1^* i^* i_2^*$ oder der in dem Objectraume (nach aussen) projicirt gedachten Eintrittspupille auf, welches den Umständen gemäss in eine andere Ebene als $p_1^{**} p^{**} p_2^{**}$ zu liegen kommt. Man sieht daher den hellen mittleren Lichtkreis über dem Ocular von einem etwas weniger deutlichen, schwach beleuchteten Kreise umgeben.

Der helle Kreis in dem Augenpunkte des Mikroskopes spielt eine wichtige Rolle bei den Abbildungsvorgängen. Die durch $p_1^{**} p^{**} p_2^{**}$ repräsentirte Kreisfläche bildet nämlich die gemeinschaftliche Grundfläche für alle von den einzelnen Bildpunkten ausgehenden virtuellen Strahlenkegel, welche nicht in das Auge gelangen können, ohne diese Kreisfläche durchlaufen zu haben. Es wirkt dieselbe also gerade so, wie eine vor das Auge gebrachte Blendung von gleichem Durchmesser, wenn von diesem statt des mikroskopischen Bildes $O_1^{**} O^{**} O_2^{**}$ ein nach allen Seiten Strahlen aussendendes leuchtendes Object beobachtet würde, und in Folge hiervon können die Bedingungen des mikroskopischen Sehens sofort auf diejenigen des Sehens mit freiem Auge zurückgeführt werden.

Die im Vorangehenden durchgeführten Betrachtungen ergeben nun eine richtige Anschauung von dem Strahlengange in dem Mikroskope. Wir ersehen daraus, dass alle homocentrischen Strahlenkegel, welche von den einzelnen Objectpunkten aus in dem Mikroskope verlaufen, sich auch zusammenfassen lassen als homocentrische Strahlenkegel, welche von den verschiedenen Punkten einer vor, beziehentlich unter dem Mikroskope

und zwar in dem Objectraume gelegenen Fläche ausgehen. Diese Fläche ist im Allgemeinen ein in den Objectraum projicirt gedachtes virtuelles Bild der Iris, d. h. die Eintrittspupille des Objectivsystemes, und enthält als Theil auch die zur Beleuchtung dienende Lichtquelle in sich.

Demnach ergiebt sich, dass neben den Objectbildern, welche die einzelnen Theile des optischen Apparates nach einander entwerfen, eine Anzahl von zugeordneten Oeffnungsbildern entsteht, welche sämmtlich die Iris oder die freie Oeffnung des Objectivsystemes abbilden. Von diesen Oeffnungsbildern erscheint das letzte, dem virtuellen Bilde zugeordnete — die Austrittspupille des Mikroskopes —, wie wir gesehen haben, über dem Ocular und lässt sich mittelst einer Lupe von entsprechender Vergrösserung näher beobachten. Ein anderes von dem Objectivsysteme allein entworfenes liegt in oder nahe an der oberen Brennebene des letzteren und kann in der schon früher erwähnten Weise beobachtet werden.

Beide Reihen von Bildern sind durch allgemeine Beziehungen unter einander verknüpft, welche für die Leistungsfähigkeit und Wirkungsweise des Mikroskopes von höchster Wichtigkeit erscheinen und die Grundlage für die Entscheidung mancher, sonst schwierig zu erledigender Fragen abgeben.

Werfen wir nochmals einen Blick auf die Fig. 23 (Seite 42), so erscheinen die Austrittspupille und das virtuelle Bild des Objectes als von ein und derselben Strahlengruppe abhängig. Der einzige Unterschied besteht darin, dass diese Strahlengruppen auf andere Weise zu Strahlenkegeln vereinigt sind. Fasst man die Strahlen als Strahlenkegel zusammen, welche von den verschiedenen Punkten des Objectes $O_1\,O\,O_2$ ausgehen, so vereinigen sich dieselben in den zugeordneten Punkten des schliesslichen Bildes $O_1^{**}\,O^{**}\,O_2^{**}$ und fasst man dieselben Strahlen zusammen als Strahlenkegel, welche von den einzelnen Punkten $P_1\,P\,P_2$ der Eintrittspupille ausgehen, so vereinigen sich dieselben in den zugeordneten Punkten der Austrittspupille $P_1^*\,P^*\,P_2^*$ des Objectivsystemes sowohl als der Austrittspupille $P_1^{**}\,P^{**}\,P_2^{**}$ des ganzen Mikroskopes. Das optische System setzt, indem es die beiden Pupillen als Bilder der Iris entwirft, das Objectfeld als Eintrittsöffnung, das Bildfeld als Austrittsöffnung in Thätigkeit. Auf diese Weise wechseln Objectfeld und Eintrittspupille im Objectraume und Bildfeld und Austrittspupille im Bildraume einfach ihre Stelle, wenn es sich theoretisch oder praktisch um die Beobachtung der Bilder der Iris handelt, zu deren Erzeugung durch Beschränkung der nun in der Objectebene $O_1\,O\,O_2$ gelegenen Eintrittsöffnung mittelst entsprechender Beendungen, so enge Strahlenkegel verwendet werden können, dass sie wie unendlich enge Strahlenkegel wirken und eine punktweise genaue Abbildung bewirken.

Die bisher entwickelten Sätze über den Strahlengang haben nur insoweit allgemeine Gültigkeit, als durchsichtige Objecte vorausgesetzt werden, welche die einfallenden Lichtstrahlen ohne Ablenkung hindurch-

treten lassen. Wenn in dem Objecte dagegen Elemente vorhanden sind, welche den von Prismen, prismatischen oder sphärischen Linsen hervorgebrachten ähnliche Brechungen erzeugen, oder in Folge ihrer Kleinheit merkliche Beugungserscheinungen hervorrufen, dann sind die von diesen Elementen nach dem Objectivsysteme ausstrahlenden Lichtbüschel nicht mehr den einfallenden gleich. Die Strahlenkegel, welche der Beleuchtungsapparat aussendet, können, indem sie durch das Object hindurchgehen, eine so grosse Winkelausbreitung erfahren, dass sie den vollen Oeffnungswinkel des Objectivsystemes ausfüllen. Derartige Objecte und Structuren können daher in ähnlicher Weise wirken wie selbstleuchtende Körper.

Nun ist einleuchtend, dass bei mikroskopischen Beobachtungen beide Fälle der von den Objectelementen ausgehenden Wirkung zugleich eintreten können. Das durchsichtige Einhüllungsmittel der Objecte, die Grenzen dieser letzteren und solche ihrer Einzeltheile, welche nur in Folge von Lichtabsorption wirksam werden, werden durch Strahlenkegel abgebildet, welche mit den einfallenden gleich sind und es kommt nur die stellvertretende Iris zur Wirksamkeit. Structureinzelheiten irgend welcher Art, welche brechend oder beugend wirken, erzeugen dagegen Strahlenkegel, welche einen grösseren oder kleineren Theil der wirklichen Iris umfassen und demgemäss kann in Bezug auf solche Einzelheiten die ganze Oeffnung des Objectivsystemes wirksam werden.

32 Die wirkliche Begrenzung der abbildenden Strahlenkegel und ihre Vertheilung innerhalb der wirksamen Oeffnung des Objectivsystemes, welche für alle wesentliche Leistungen des Mikroskopes von höchster Bedeutung erscheint, kann stets zur Anschauung gebracht werden, wenn man mittelst des freien Auges, einer Lupe oder eines Hülfsmikroskopes die jeweiligen, von den abbildenden Strahlenkegeln umfassten Strahlenbüschel innerhalb eines Querschnittes durch dieselben beobachtet, welcher in einer über dem Objectivsysteme oder über dem Ocular gelegenen Ebene enthalten ist. Beobachtet man den Querschnitt über dem Objectiv systeme mit freiem Auge — wie es bei schwächeren Objectivsystemen mit verhältnissmässig grosser Austrittspupille stets geschehen kann — so stellt man mittelst eines Objectivsystemes von ansehnlicher Oeffnung in gewöhnlicher Weise auf ein durchsichtiges Object ein, entfernt dann das Ocular und sieht auf das Objectivsystem hinab, indem man die Pupille des Auges unverrückt über der Stelle hält (eine auf die Tubusöffnung gelegte Messing- oder Cartonscheibe mit enger Oeffnung kann zur Fixirung des Auges dienen), wo innerhalb des Tubus das verkehrte reelle Bild des Objectes entworfen wird. Nimmt man den Querschnitt über dem Oculare in dem sogenannten Augenpunkte in Augenschein, so verwendet man eine Lupe und stellt mit dieser auf den kleinen hellen Kreis ein, der jedem praktischen Mikroskopiker genugsam bekannt ist.

Das Hülfsmikroskop, welches man erhält, wenn am unteren Ende des gewöhnlichen oder — erforderlichen Falles — eines längeren Aus-

zugsrohres ein Objectivsystem von etwa 40 bis 50 mm Brennweite und mit einer über ihm befindlichen, nach bestimmten Grundsätzen regulirten Blendung angebracht und das Ocular am oberen Ende eingesetzt wird und welches man auf den Querschnitten der abbildenden Strahlenkegel einstellt, kommt nur bei Objectivsystemen von kurzer Brennweite zur Anwendung, deren Austrittspupille sehr klein ist.

Die Bilder, welche man bei dieser Beobachtungsweise erhält, werden sich je nach Art der Objecte oder einzelner ihrer — der Beobachtung unterworfenen — Theile verschieden gestalten.

Wenn sich eine völlig durchsichtige Stelle irgend eines Präparates in dem Sehfelde befindet, so erblickt man, sobald der Spiegel einen vollen Lichtkegel in das Objectiv sendet, innerhalb der Iris oder der Austrittspupille desselben eine helle kreisförmige oder elliptische Fläche, welche nichts Anderes ist, als das reelle verkehrte, über dem Objectivsysteme erzeugte Bild des Spiegels, oder der Blendungsöffnung des Beleuchtungsapparates, welches als stellvertretende Austrittspupille wirkt. Wird der Spiegel oder die Blendung mehr und mehr seitwärts aus der Achse bewegt, so bewegt sich die stellvertretende Austrittspupille mehr und mehr in der entgegengesetzten Richtung aus der Achse, bis sie hinter dem Rande der wirklichen Iris verschwindet. Gelangt dagegen ein Theil des Präparates, welcher Structureinzelheiten enthält, in das Sehfeld, so erleidet das Oeffnungsbild eine Umgestaltung. Giebt das Object nicht zu regelmässiger Brechung oder Beugung Anlass, so verschwindet der scharfe Umriss des hellen Kreises und man sieht das Licht in einer grösseren oder kleineren Ausdehnung und mit mehr oder minder Regelmässigkeit über den Kreis der wirklichen Iris des Objectivsystemes zerstreut. Im anderen Falle, auf welchen wir später zurückkommen werden, bleibt das Bild des Spiegels oder der Blendung gut begrenzt und die abgelenkten Strahlenbüschel erzeugen Nebenbilder der lichtgebenden Fläche, welche das Hauptbild in grösserer oder geringerer Entfernung umgeben.

4. Numerische Apertur.

Die für Theorie und Praxis des Mikroskopes hohe Bedeutung der Oeffnung, auf welche sich eine Reihe von Functionen und Eigenschaften des Instrumentes gründet, von denen die meisten einer genauen Messung zugänglich und aus dem erhaltenen Resultat ziffermässig bestimmbar sind, macht für diesen Grundfactor einen genauen durch Zahlen bestimmbaren Ausdruck, d. h. ein Maass im wahren Sinne des Wortes erwünscht und nothwendig, da der Winkelwerth der Oeffnung, „der Oeffnungswinkel“ selbstverständlich als eine lediglich geometrische Bezeichnungsweise der Oeffnung ein solches Maass nicht bilden kann. So stellt für ein Trockensystem ein Winkelwerth von 120° keineswegs eine doppelt so grosse Oeffnung vor, als ein Winkelwerth von 60°. Es giebt, ganz 33

kleine Winkel ausgenommen, keinen einzigen Fall in der Wirkungsweise des Mikroskopes, in welchem die Leistung einer vergrösserten Oeffnung im Verhältniss stehe zu der Vergrösserung des Oeffnungswinkels, und ebensowenig können gleiche Oeffnungswinkel gleiche Oeffnung anzeigen, so lange sie nicht auf das gleiche Medium bezogen werden, indem z. B. 100° des Oeffnungswinkels eines Immersionssystemes irgend welcher Art unzweifelhaft eine weit grössere Oeffnung bezeichnet, als 100° des Luftwinkels eines Trockensystemes.

Die allgemeine Grundlage, auf welcher die verschiedenen Leistungen eines Objectivsystems beruhen, bildet die Fähigkeit, eine grössere oder geringere Strahlenmenge von dem Objecte aus aufzunehmen und zu dem Bilde hinüberzuführen. Vergleicht man nun, indem man von allen nebensächlichen und zufälligen Umständen absieht, oder dieselbe durch die Annahme einer in ihrem ganzen Umfange gleichmässig lichtstrahlenden Flächeneinheit von bestimmter Ausdehnung ausschliesst, die Menge der Strahlen, welche von verschiedenen Systemen aufgenommen wird, so wird die Function der Oeffnung auf einen genauen, zahlenmässigen Ausdruck zurückgeführt.

Bei sehr kleinen Oeffnungswinkeln kann die Strahlenmenge, wegen der Gleichwerthigkeit der Strahlenbüschel in verschiedenen Richtungen, durch den Ausdruck des Winkelwerthes bemessen und dieser Winkelwerth als Maass der Oeffnungswirkung betrachtet werden. Hat man es dagegen mit grossem Oeffnungswinkel, also mit Strahlenkegel von grossem Divergenzwinkel zu thun, so sind die nach verschiedenen Richtungen ausfahrenden Strahlen nicht mehr als gleichwerthig anzusehen und der Strahlenkegel kann nicht mehr durch seinen Scheitelwinkel ausgewerthet werden. Es giebt indessen einen anderen, von dem Winkelwerthe abgeleiteten Zahlenausdruck, dessen Quadrat die hier in Frage kommende Strahlenmenge bestimmt und mittelst dessen die Fähigkeit der Strahlenaufnahme grosser Oeffnungen ebenso gut gemessen werden kann wie diejenige sehr kleiner Oeffnungen durch die Winkel. Dieser Ausdruck, welcher zuerst von Professor Abbe festgestellt und definirt worden ist, kann, wenn man die Voraussetzung zu Hülfe nimmt, dass das abbildende System ein aplanatisches sei, durch eine einfache Entwickelung ermittelt werden und ergiebt sich im Anschlusse an die Convergenzbedingung S. 30, und wenn wir ferner annehmen, dass das Bild, wie es bei dem Mikroskope stets der Fall ist, von Luft umgeben sei, und die Vergrösserung so gross nehmen, dass die austretenden Strahlenkegel sehr enge werden, also $\sin u^* = u^*$ gesetzt werden darf, in der Gleichung:

$$u^* = \frac{1}{N} \cdot n \sin u$$

Der halbe Oeffnungswinkel der austretenden Strahlen hängt also nur von der Vergrösserung des Bildes und dem Producte $n \, . \sin u$ und bei gleicher Vergrösserung einzig und allein von dem letzteren ab. Dieses Product,

$n . \sin u = a$ gesetzt und nach Abbe als numerische Apertur (*num. Ap.*) bezeichnet, ist nun, obwohl seine Ableitung an gewisse Voraussetzungen geknüpft erscheint, das richtige und für die Anwendung auf die Theorie des Mikroskopes vollständig verlässliche Maass für die Bemessung der Functionen des Oeffnungswinkels.

34 Ehe wir zu denjenigen Eigenschaften des Mikroskopes übergehen welche unmittelbar von Art und Weise der Begrenzung der Strahlenkegel bei ihrem Verlauf in demselben abhängen und demgemäss zu der numerischen Apertur in innigstem Zusammenhange stehen, wollen wir noch einige Beziehungen kennen lernen, welche zwischen der letzteren und einigen anderen Elementen des Instrumentes auftreten.

Fig. 30.

Wie wir gesehen, haben die aus einem optischen Systeme austretenden Strahlenkegel ihre gemeinschaftliche Grundfläche in der Austrittspupille dieses Systemes. Der Winkel u^*, dessen Werth durch die Gleichung

$$u^* = \frac{1}{N} \cdot a$$

bestimmt ist, kann daher auch durch das gleichschenkelige Dreieck (Fig. 30) ausgedrückt werden, dessen Scheitel durch den Bildpunkt O^* und dessen Grundlinie durch den Durchmesser $P_1^* P_2^*$ der Austrittspupille des Objectivsystemes gebildet wird. Bezeichnen wir nun mit l den Abstand der Austrittspupille von dem Bildpunkte O^*, mit p^* den Halbmesser der Austrittspupille, so ist für kleine Winkel

$$u^* = \frac{p^*}{l}$$

also $$\frac{p^*}{l} = \frac{1}{N} \cdot a \text{ und daraus } a = \frac{N}{l} \cdot p^*$$

wobei unter N die Vergrösserung des vom Objectiv entworfenen Bildes zu verstehen ist.

Aus dieser Gleichung kann die numerische Apertur für jedes beliebige Objectivsystem gefunden werden, wenn neben den beiden Factoren l und N noch der lineare Durchmesser der Austrittspupille gemessen ist.

Ausser den voranstehenden lassen sich aus dem Werthe des Winkels u^* noch einige andere Beziehungen der numerischen Apertur ableiten, welche für Theorie und Praxis des Mikroskopes von Wichtigkeit sind.

Um den Werth von u^* zu bestimmen, muss man nicht gerade von der Austrittspupille und ihrem Abstande von dem axialen Bildpunkte O^*,

sondern man kann ebenso gut von irgend einem anderen Querschnitte des austretenden Strahlenkegels und dessen Entfernung von dem genannten Punkte ausgehen.

Würde dieser Querschnitt in der hinteren Brennebene des Objectivsystemes genommen, so würde, da die durch O^* gehende Bildebene als mit der vorderen Brennebene des Oculars zusammenfallend angenommen werden kann, $l = \triangle$, d. h. dem Abstande der hinteren Brennebene ($F_1{}^*$) des Objectivsystemes von der vorderen Brennebene (F_2) des Oculars oder der optischen Tubuslänge gleich werden. Da die hintere Brennebene des Objectivsystemes der Beobachtung zugänglich gemacht und ausserdem $\triangle$ genau bestimmt werden kann, so ergiebt sich auf dieser Grundlage eine bedeutungsvolle Umformung der obigen Gleichung. Bezeichnen wir nämlich mit ϱ den Halbmesser des betreffenden Querschnittes des austretenden axialen Strahlenkegels, mit N wieder die lineare Vergrösserung des von dem Objectivsysteme entworfenen reellen Bildes, so ist:

$$\varrho = \frac{\triangle}{N} \cdot a$$

Da nun für jedes optische System der Quotient $\frac{\triangle}{N}$ der Aequivalentbrennweite des Systemes gleich ist, und man für a jeden beliebigen in Thätigkeit gesetzten, ein entsprechendes ϱ bedingenden Theil der freien Oeffnung setzen kann, der sich durch $n \sin u$ ausdrücken lässt, so geht obige Gleichung über in die beiden Gleichungen:

$$\varrho = f \,.\, a, \text{ woraus } a = \frac{\varrho}{f}$$

und

$$\varrho = f \,.\, n \,.\, \sin u, \text{ woraus } f = \frac{\varrho}{n \sin u}$$

oder $n = 1$, d. h. im Objectraume Luft als Medium angenommen,

$$\varrho = f \,.\, \sin u \text{ und } f = \frac{\varrho}{\sin u}$$

Da bei dem Mikroskope Aplanatismus vorausgesetzt werden kann, so besagen diese Gleichungen:

Erstens: Die numerische Apertur ist gleich dem Quotienten aus der Brennweite des Objectivsystemes in den Halbmesser des in der Ebene des hinteren Brennpunktes genommenen Querschnittes von dem austretenden Strahlenkegel.

Zweitens: Jeder von einem aplanatischen Punkte eines Objectivsystemes ausgehende Lichtstrahl schneidet nach dem Durchtritt durch das Linsensystem eine durch den anderen Brennpunkt gelegte, zur Achse senkrechte Ebene in einem Abstande von der Achse, dessen lineare Grösse

gleich ist dem Producte aus der Brennweite des Systemes, dem Brechungsindex des betreffenden Mediums und dem Sinus des Winkels, welchen der eintretende Strahl mit der Achse bildet[1]).

Da bei den Objectivsystemen des Mikroskopes, namentlich bei den stärkeren, die hintere Brennebene in der Regel sehr nahe an der Aussenfläche der hinteren Linse liegt, so beträgt die Differenz zwischen der Entfernung der ersteren und der letzteren von dem axialen Bildpunkte O^* nur einen äusserst kleinen Bruchtheil dieser Entfernungen. Man kann daher auch die Gleichung $\varrho = a \,.\, f$ auf den Querschnitt des austretenden axialen Lichtkegels in der hinteren Linsenfläche anwenden und erhält so, wenn man dessen Halbmesser mit r bezeichnet, die Gleichung:

$$r = a \,.\, f$$

Dieselbe kann zur Bestimmung des linearen Durchmessers desjenigen Theiles der hinteren Linsenfläche oder des Minimums ihres lichten Durchmessers dienen, welcher erforderlich ist, um die geforderte numerische Apertur zu erreichen. Sie gewährt aber auch in der Umformung $a = \frac{r}{f}$ eine weitere Begriffserklärung der numerischen Apertur, indem diese sich darstellt als das Verhältniss zwischen dem Halbmesser der lichten Oeffnung und der Brennweite.

Wird die aus der Gleichung:

$$\frac{p^*}{l} = \frac{1}{N} \cdot a$$

abgeleitete Gleichung:

$$p^* = \frac{l}{N} \cdot a$$

auf das ganze Mikroskop angewendet, so tritt der Halbmesser der Austrittspupille des ganzen Mikroskopes p^{**} an die Stelle von p^*, während N die lineare Vergrösserung des schliesslichen virtuellen Bildes in der deutlichen Sehweite X bezeichnet und es ist:

$$p^{**} = \frac{X}{N} \cdot a$$

d. h. der lineare Durchmesser der Austrittspupille des ganzen Mikroskopes steht in geradem Verhältnisse zu der numerischen Apertur, dagegen in umgekehrtem Verhältnisse zu der Gesammtvergrösserung.

---

[1]) Abbe, Beiträge zur Theorie des Mikroskopes etc. Max Schultze's Archiv Bd. IX.

Wenden wir uns nun zu den mit der numerischen Apertur im engsten Zusammenhange stehenden Eigenschaften des zusammengesetzten Mikroskopes, so haben wir an dieser Stelle die Sehtiefe und die Lichtstärke zu betrachten.

3. Sehtiefe — Penetration.

35 Die Sehtiefe oder Tiefenperspective (die Focustiefe oder sogenannte Penetration) des Mikroskopes, d. h. die Fähigkeit, in verschiedenen Tiefen gelegene Theile eines Objectes zur deutlichen Anschauung zu bringen, beruht auf der Thatsache, dass das Auge gegen kleine Fehler der Strahlenvereinigung in dem mikroskopischen Bilde, d. h. gegen kleine Undeutlichkeitskreise in dem schliesslichen Netzhautbildchen unempfindlich ist und dass es ausserdem die Fähigkeit besitzt, durch bewusste oder unbewusste Accommodation sich auf virtuelle Bilder in grösserer oder kleinerer Sehweite einzustellen und so nach und nach verschiedene Ebenen mit vollkommener Bildschärfe auf der Netzhaut zur Abbildung zu bringen.

Aus der ersteren Eigenschaft erklärt sich die Erscheinung, dass bei einer bestimmten Einstellung des Mikroskopes und bei einem bestimmten Accommodationszustande des beobachtenden Auges Querschnitte eines Objectes, welche um ein gewisses Maass, welches wir δ nennen wollen, von der genauen Einstellungsebene nach oben oder unten abstehen, noch ohne merkliche oder schädliche Undeutlichkeit wahrgenommen werden können. Das Maass des auf diese Weise erlangten Spielraumes deutlicher Wahrnehmung wird als Focustiefe des Mikroskopes bezeichnet und kann ziffermässig bestimmt werden, sofern eine bestimmte Grösse des Winkels ω festgesetzt wird, unter welcher bei einer bestimmten in dem Objecte auftretenden Focusdifferenz der scheinbare anguläre Durchmesser der Undeutlichkeitskreise dem Auge erscheinen darf, ohne unzulässige Undeutlichkeit hervorzurufen.

Dieselbe hängt nämlich, wenn die Sehweite und der Spielraum in der angulären Grösse der Undeutlichkeitskreise, die für ein normales Auge etwa eine Bogenminute für ein sehr scharfes, 2 bis 3′ für ein noch ziemlich deutliches und 5 bis 6′ für ein etwa noch erträgliches Sehen beträgt, gegeben sind, von nichts weiter ab, als von dem Brechungsindex, in welchem sich das Object befindet, von der Vergrösserungsziffer und von der numerischen Apertur des Mikroskopes (oder einem Theile derselben), steht zu dem Brechungsindex des Objectmediums in geradem, zu der numerischen Apertur und der Vergrösserung dagegen in umgekehrtem Verhältnisse und wird, da das virtuelle Bild sich stets in Luft befindet, ausgedrückt durch die Gleichung:

$$2\,\delta = \omega \cdot \frac{n}{a} \cdot \frac{X}{N}$$

wobei a entweder die volle numerische Apertur oder denjenigen Theil derselben darstellen mag, welcher durch den Beleuchtungskegel in Wirksamkeit gesetzt wird.

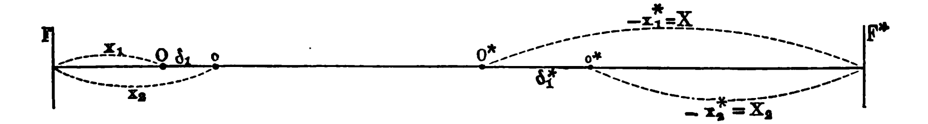
Nehmen wir an, es sei der Sehwinkel ω der zulässigen Undeutlichkeit auf 3 Bogenminuten oder auf den numerischen Werth von ungefähr 0,00087 festgestellt, der wirksame Theil der numerischen Apertur betrage 0,5 (60° Oeffnungswinkel der abbildenden Strahlenkegel), die Vergrösserungsziffern für die normale Sehweite von 250 mm je 10, 50, 100, 500, 1000, und es werde das Object als in Luft liegend vorausgesetzt ($n = 1$), so ist die Focustiefe:

$$2\,\delta = 0{,}0008 \cdot \frac{250}{10 \ldots \times 0{,}5} \quad \text{oder}$$

0,040 mm	oder 40 μ	für	10 fache	Vergrösserung
0,004 „	„ 4 „	„	100 „	„
0,0008 „	„ 0,8 „	„	500 „	„
0,0004 „	„ 0,4 „	„	1000 „	„

Würde sich das Object in Wasser oder in Balsam befinden, so würden die Zahlen beziehentlich um je 1,33- oder 1,5 mal grösser ausfallen, würden dagegen die Grenzen des Spielraumes der zulässigen Undeutlichkeit eingeengt oder erweitert, so würden sich dieselben entsprechend vermindern oder erhöhen.

Fig. 31.



Die auf der oben erwähnten Fähigkeit des Auges, sich verschiedenen Entfernungen anzubequemen, beruhende Accommodationstiefe, δ_1 in Fig. 31, welche den zweiten Factor beim Zustandekommen der mikroskopischen Sehtiefe bildet, spielt in der Auffassung der Raumverhältnisse bei dem mikroskopischen Sehen ganz dieselbe Rolle wie bei dem Sehen mit freiem Auge. Dieselbe ist vollständig bestimmt durch die sogenannte Accommodationsbreite des beobachtenden Auges, deren Grenzen die grösste X_1 und kleinste X_2 Entfernung des deutlichen Sehens bilden, und findet ihr genaues, in Zahlen ausdrückbares Maass in dem Unterschiede der reciproken Werthe dieser beiden äussersten Entfernungen. Ist die Accommodationsfähigkeit eines bestimmten Auges direct in Zahlen ausgedrückt, so lässt sich die für dasselbe bestehende Accommodationstiefe beim mikroskopischen Sehen für jede bestimmte lineare Vergrösserung und zwar ganz unabhängig von den einzelnen Bestandtheilen des Mikroskopes (Objectivsystem, Ocular und Tubuslänge) genau berechnen, sobald

noch der Brechungsindex des Mediums gegeben ist, von welchem das zu beobachtende Object umgeben erscheint. Namentlich ist dieselbe ganz unabhängig von der wirksam werdenden Oeffnung der abbildenden Strahlenkegel, da der Spielraum für ein vollkommen deutliches Sehen für enge wie für weite Strahlenbüschel derselbe ist. Dagegen ist leicht einzusehen, dass dieselbe in Folge der aus der Formel

$$\frac{d^*}{d} = \frac{n^*}{n} \cdot N^2$$

ersichtlichen Uebervergrösserung der Tiefe in dem nach den drei Richtungen des Raumes ausgedehnten Bilde bei höher gesteigerter linearer Vergrösserung mit der letzteren rasch abnehmen muss.

Die Accommodationstiefe steht zu dem Brechungsindex des Objectmediums und zu dem Aequivalent der Accommodationsbreite des Auges in geradem, zu dem Quadrate der — immer auf eine gleiche Bildweite ($X = 250$ mm) bezogenen — Vergrösserung N des Mikroskopes in umgekehrtem Verhältnisse und findet ihren mathematischen Ausdruck in der Gleichung:

$$\delta^1 = n \cdot \frac{(X)^2}{(N)^2} \cdot \left(\frac{1}{X_2} - \frac{1}{X_1}\right)$$

Setzen wir z. B. $X_1 = 300$, $X_2 = 150$, so wird:

$$\frac{1}{X_2} - \frac{1}{X_1} = \frac{1}{150} - \frac{1}{300} = \frac{1}{300};$$

sei ferner:

$$X = 250,\ N = 10,\ 50,\ 100,\ 500,\ 1000,\ 2000 \text{ und } n = 1$$

so wird:

$$\delta_1 = \frac{250^2}{(10\ldots)^2} \cdot \frac{1}{300}$$

das heisst:

2,08	mm =	2080	μ	für	10 fache	Vergrösserung
0,02	„	20	„	„	100 „	„
0,0008	„	0,8	„	„	500 „	„
0,0002	„	0,2	„	„	1000 „	„

Die Sehtiefe des Mikroskopes setzt sich nun für ein und dieselbe Einstellung aus den beiden Bestandtheilen Accommodationstiefe und Focustiefe in der Art zusammen, dass erstere denjenigen Objectraum bezeichnet, welchen das freie Auge kraft der Accommodationsfähigkeit mit vollkommener Bildschärfe zu durchmessen vermag, während letztere diesen Raum an seinen Grenzen nach unten wie nach oben hin um den Betrag erweitert, bei welchem noch ein deutliches Sehen ohne volle Bildschärfe möglich ist. Die Sehtiefe ist in der That gleich der Summe:

$$\delta_1 + 2\delta$$

Die ungleichen Antheile, welche beiden Bestandtheilen an dem Resultate ihres Zusammenwirkens zukommen, lassen sich schon aus den

beiden angeführten Zahlenreihen leicht ermessen. Man ersieht z. B. daraus, dass bei mittleren Vergrösserungen beide etwa gleiche Wirkung äussern, während bei schwächeren vorzugsweise und fast einzig die Accommodationstiefe, bei stärkeren aber die Focustiefe in Wirksamkeit, jene dagegen fast gänzlich zurücktritt. Diese Antheile werden aber noch besser erkennbar, wenn man die für die einzelnen Vergrösserungen berechneten Tiefenwerthe beider Reihen mit dem Durchmesser des Sehfeldes bei den gleichen Vergrösserungen vergleicht.

Dieser Durchmesser beträgt unter den Seite 34 vorausgesetzten Verhältnissen für die eben in Betracht gezogenen Vergrösserungen:

14	mm für	10	fache	Vergrösserung
1,4	„ „	100	„	„
0,28	„ „	500	„	„
0,14	„ „	1000	„	„

Die Accommodationstiefe beträgt demgemäss unter den obigen Beispielen zu Grunde liegenden Voraussetzungen etwa:

$\frac{1}{7}$	des Sehfeldes bei		10	facher	Vergrösserung
$\frac{1}{70}$	„ „	„	100	„	„
$\frac{1}{350}$	„ „	„	500	„	„
$\frac{1}{700}$	„ „	„	1000	„	„

Die mit der optischen Abbildung verknüpfte Uebervergrösserung der Tiefenabmessung bringt demnach mit wachsender Vergrösserung ein immer ungünstiger werdendes Verhältniss zwischen Tiefe und linearem Durchmesser des der Accommodation zugänglichen Objectraumes hervor.

Ein ganz anderes Verhalten tritt dagegen bei der Focustiefe ein. Hier wird nämlich die Wirkung der Uebervergrösserung, da das Anwachsen der Undeutlichkeitskreise beim Ueberschreiten des Nahe- oder Fernpunktes in dem Verhältnisse des Durchmessers der abbildenden Strahlenkegel erfolgt, durch die mit der linearen Vergrösserung des Mikroskopes verhältnissmässig fortschreitende Verengerung der Austrittspupille und damit der aus dem Ocular in das Auge tretende Strahlenkegel ausgeglichen. Es bewahrt demgemäss der vermöge der Focustiefe erkennbare Körperraum trotz der Uebervergrösserung ein ganz constantes Verhältniss zwischen Tiefenausmessung und linearem Durchmesser, so lange der Gesichtswinkel $2w$ des Oculares, die numerische Apertur in dem oben bezeichneten Sinne, sowie das das Object umgebende Medium gleich bleiben und eine bestimmte Grenze des Sehwinkels der zulässigen Undeutlichkeitskreise festgehalten wird. Für die oben angenommene Grösse der numerischen Apertur der abbildenden Strahlenkegel und des zulässigen Sehwinkels der Undeutlichkeitskreise beträgt für ein in Luft liegendes Object das für alle Vergrösserungen gleiche Verhältniss zwischen Tiefe und Durchmesser des der Focustiefe entsprechenden Objectraumes z. B. etwa $\frac{1}{350}$.

Die aus den voranstehenden Betrachtungen sich ergebenden Schlussfolgerungen in Bezug auf die mikroskopische Beobachtung lassen sich nun — wenn wir die vorläufig stereoskopische Beobachtung ausser Acht lassen — in Folgendem zusammenfassen:

Das directe Sehen körperlicher Gebilde ist bei schwachen Vergrösserungen fast ganz allein von der Accommodationsfähigkeit des Auges abhängig. Bei mittleren Vergrösserungen von über 300 wird die Wirkung der beiden Factoren etwa gleichwerthig, ergiebt aber selbst in ihrer Summe schon einen kleinen Bruchtheil vom Durchmesser des Sehfeldes. Werden noch stärkere Vergrösserungen in Anwendung gebracht, so hört die Wirksamkeit der Accommodation fast völlig auf und die ganze Sehtiefe wird mehr und mehr und endlich fast ganz nur Focustiefe.

Dies giebt uns eine wichtige Richtschnur für die Verwendung des optischen Apparates. Wir werden bei unseren Beobachtungen in allen Fällen, wo es auf eine gewisse Tiefe des Sehraumes ankommt, zunächst stets zu den schwächeren Vergrösserungen greifen, so lange dieselben uns das sonst gewünschte Detail zugänglich machen. Wir werden aber auch bei mittleren und stärkeren Vergrösserungen, welche für alle eine grössere Sehtiefe erfordernde Beobachtungen am besten mittelst Objectivsystemen von kleiner oder mässiger numerischer Apertur hergestellt werden, die Beleuchtung in entsprechender Weise regeln und zur Erlangung grösserer Sehtiefe stets enge Beleuchtungskegel verwenden müssen.

4. Lichtstärke des Mikroskopes.

36 Die Lichtstärke des Mikroskopes steht in engster Beziehung entweder zu der vollen, d. h. durch das über dem Ocular entworfene Bild der Iris des Objectives dargestellten, oder zu der in jedem einzelnen Falle wirksamen Austrittspupille des ganzen Mikroskopes, je nachdem die von dem Objecte ausgehende Lichtstrahlung die ganze Oeffnung ausfüllt, oder nur enge durch die durchsichtigen Theile des Objectes getretene, dem directen Strahlenkegel gleiche Strahlenbüschel bei der Abbildung thätig werden.

Bei der Beobachtung eines mikroskopischen Bildes müssen nämlich alle von dem Bilde zu dem Auge gelangenden Strahlen durch die in dem sogenannten Augenpunkte gelegene Austrittspupille des Mikroskopes hindurchgehen. Dasselbe muss also, da die Leuchtkraft der Lichtquelle auf das Object übertragen wird und — so lange Strahlenkegel von gleicher Winkelöffnung in Betracht kommen — jede Flächeneinheit des Bildes die gleiche Lichtmenge ausstrahlt, welche von jeder Flächeneinheit des Objectes ausgestrahlt oder durchgelassen wird, ganz unter denselben Bedingungen, d. h. in der gleichen Helligkeit gesehen werden, wie ein mit der ursprünglichen Leuchtkraft des mikroskopischen Objectes, oder

der hinter (unter) ihm befindlichen lichtgebenden Fläche strahlender, beliebig vergrösserter Gegenstand beim natürlichen Sehen erscheinen würde, wenn man vor dem Auge ein Diaphragma mit einer der Austrittspupille des Mikroskopes congruenten freien Oeffnung aufstellt[1]).

Daraus folgt:

1. Die Helligkeit des mikroskopischen Bildes kann, da der Durchmesser der wirksam werdenden Austrittspupille in dem Durchmesser der Pupille des Auges seine äusserste Grenze findet, unter keinen Umständen grösser werden als diejenige, mit welcher das Object unter gleicher Beleuchtung dem freien Auge erscheinen würde.

2. Wenn die Grösse der Austrittspupille diejenige der Pupille des Auges überschreitet oder erreicht, so kommt die Helligkeit des mikroskopischen Bildes — sofern man von den durch das Instrument verursachten Lichtverlusten absieht — bei jeder beliebigen Vergrösserung stets der Helligkeit des natürlichen Objectes oder der lichtgebenden Fläche gleich.

Wird hierbei ein bestimmter Durchmesser der Pupille des Auges vorausgesetzt, so giebt es einen Grenzwerth der Vergrösserung $[N]$ des Mikroskopes, bis zu welchem die Helligkeit des natürlichen Sehens bewahrt wird und welche entweder von der numerischen Apertur des Objectivsystemes oder von der des Beleuchtungskegels abhängt und wenn π den Halbmesser der Pupille des Auges vorstellt, ausgedrückt wird durch die Formel:

$$\pi = \frac{X}{[N]} \cdot a \text{ oder } [N] = \frac{X}{\pi} \cdot a$$

Sei z. B. die numerische Apertur eines Objectivsystemes für homogene Immersion = 1,25, die deutliche Sehweite $X = 250$ mm und $\pi = 2{,}0$ mm (der annähernde Halbmesser der Pupille bei Tageslicht) und wird angenommen, das volle a trete in Wirksamkeit, so ist die Vergrösserung, welche dieses System ohne Lichtverlust erträgt:

$$= \frac{250}{2} \cdot 1{,}25 = 156$$

Dieselbe würde jedoch auf 52 sinken, wenn der Beleuchtungsapparat nur einen Lichtkegel von etwa 0,42 numerischer Apertur (50°) liefert.

3. Uebersteigt die Vergrösserung N des Mikroskopes den mit dem Werthe von a verknüpften Grenzwerth $[N]$, so vermindert sich die Helligkeit des mikroskopischen Bildes im Vergleich zu der Helligkeit des natürlichen Sehens in dem Verhältnisse von $\pi^2 : (p^{**})^2$ oder in dem Verhältnisse von $N^2 : [N]^2$.

---

[1]) Abbe, l. c. Seite 438.

In Worten: Uebersteigt die Vergrösserung des Mikroskopes den oben bezeichneten Grenzwerth [N], oder wird die Austrittspupille in dem Augenpunkte des Mikroskopes kleiner als die Pupille des Auges, so vermindert sich die Helligkeit des mikroskopischen Bildes in dem umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der linearen Vergrösserung.

Wird z. B. die Vergrösserung des oben betrachteten Objectivsystemes mit vollem Lichte auf 1560, mit einem Beleuchtungskegel von 0,42 numerischer Apertur auf 520 gebracht, so wird die Helligkeit nur $^1/_{100}$ von derjenigen des Sehens mit freiem Auge betragen.

4. Abgesehen von den praktisch fast kaum in Betracht kommenden kleinen Unterschieden in den Lichtverlusten innerhalb des Mikroskopes hängt die Helligkeit des mikroskopischen Bildes in keinerlei Weise von der Zusammensetzung des optischen Apparates (Brennweite des Objectivsystemes, Ocularstärke und Tubuslänge), sondern einzig und allein von der wirksam werdenden numerischen Apertur und der Gesammtvergrösserung ab.

Daher sind denn auch alle Objectivsysteme, deren numerische Apertur diejenige des gewöhnlich zur Verwendung kommenden Beleuchtungskegels von etwa 0,35 bis 0,42 überschreitet (wie durch einen schlagenden Versuch, Handbuch S. 213, nachgewiesen werden kann), in Bezug auf Lichtstärke sämmtlich einander gleich, sobald sie unter gleicher Gesammtvergrösserung benutzt werden, und die gegentheiligen Ansichten mancher Mikroskopiker beruhen einfach auf dem Umstande, dass Unterschiede in der Schärfe und Deutlichkeit des Bildes unwillkürlich als Unterschiede in der Helligkeit gedeutet werden.

III. Schematische Zerlegung des Mikroskopes. Objectivwirkung und Ocularfunction.

37 Zu einer rationellen schematischen Zerlegung des Mikroskopes und einer damit verknüpften gründlicheren Kennzeichnung seiner wesentlichen optischen Wirksamkeit, welche sich aus zwei dem Begriffe nach selbständigen und in ihren besonderen gegenseitigen Leistungen auch thatsächlich trennbaren Grundfactoren: Focalwirkung und Flächenausbreitung, zusammensetzt, gewährt die auf Seite 34 aufgestellte Gleichung:

$$N = \left(\frac{X}{f_1}\right) \cdot \left(-\frac{\Delta}{f_2}\right)$$

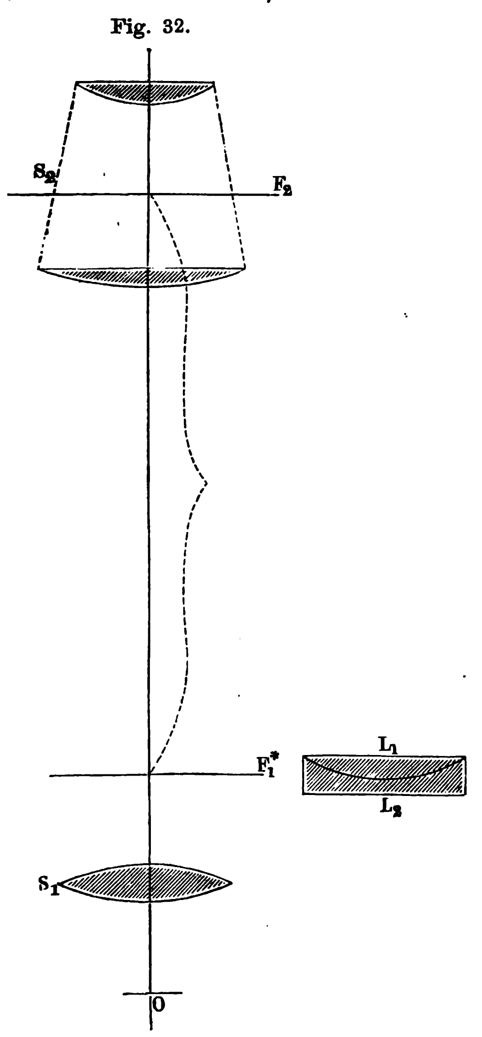
die erforderliche Grundlage [1]).

---

[1]) Abbe, Beiträge etc. S. 421 u. f.

In dieser Gleichung erscheint der erste Factor $\frac{X}{f_1}$ als die **Ver-össerung** einer Loupe, während der zweite Factor $\left(-\frac{\triangle}{f_2}\right)$ den annten Ausdruck für die **Angularvergrösserung** eines astronomi-en Fernrohres darstellt, dessen Ocular die Brennweite f_2, dessen Objectivsystem die Brennweite $\triangle$, also seinen Ort in der hinteren (oberen) Brennebene des Mikroskopobjectives von der Brennweite $= f_1$ hätte. Der erste Factor kennzeichnet somit die **Loupen-** oder **Focalwirkung** des Objectivsystemes, der andere die **Ocularfunction**, welche in der **Angularvergrösserung** oder **Flächenausbreitung** des von dem Objectivsysteme entworfenen Bildes besteht.

Fig. 32.



Um diese theoretische Auseinanderlegung der Wirkungsweise zu verwirklichen, müsste man am Orte der hinteren Brennebene F_1* des Mikroskopobjectives eine — optisch unwirksame — ebene, parallelflächige Platte eingeschaltet und dieselbe aus zwei verschwindend dünnen Linsen von gleicher Krümmung, nämlich einer planconvexen Sammellinse L_1 von der Brennweite $\triangle$ und einer plan-ncaven Zerstreuungslinse L_2 von der Brennweite — $\triangle$ zusammengesetzt nken (Fig. 32).

Dadurch wird an der Zusammensetzung des Mikroskopes **that-ichlich** nichts geändert und man kann nun die Sammellinse L_1 zum

Ocular rechnen, die Zerstreuungslinse L_2 zum Objectivsystem hinzufügen, dessen Brennweite hierdurch nach Formel V b. nicht verändert wird, weil dieser Formel zufolge ganz allgemein die Brennweite eines zusammengesetzten Systemes derjenigen des ersten Gliedes gleich bleibt, sobald das zweite Glied eine einfache Linse am Orte des hinteren Brennpunktes des ersten Gliedes ist und also im Sinne der dortigen Bezeichnung $\triangle = - f_2$ wird.

Auf diese Weise erhält man erstlich ein aus dem Objectivsysteme des Mikroskopes S_1 und der Zerstreuungslinse L_2 gebildetes Objectivsystem $(S_1 + L_2)$, dessen vorderer Brennpunkt mit dem Achsenpunkte O der Objectebene zusammenfällt, welches also die nach dem Achsenpunkte der Bildebene hinzielenden Strahlenbüschel in parallelstrahlige, mit der Achse gleichlaufende Büschel, alle nach seitlichen Punkten der Bildebene gerichteten zu solchen umwandelt, welche unter einem gewissen, aber gleichen Winkel zur Achse geneigt sind und welches somit das im unteren Brennpunkte F des ganzen Mikroskopes befindliche Object O gerade so virtuell in unendliche Entfernung rückt, wie eine Loupe für ein weitsichtiges Auge; und zweitens ein aus dem Ocular S_2 und der Sammellinse L_1 bestehendes astronomisches Fernrohr $(L_1 + S_2)$, welches dieses virtuelle Bild nach Maassgabe der Angularvergrösserung $\frac{\triangle}{f_2}$ auf einen vergrösserten Sehwinkel ausbreitet.

Hieraus ergiebt sich die bezeichnende Arbeitstheilung in der Wirkungsweise des zusammengesetzten Mikroskopes, sowie der Antheil, welcher den einzelnen Bestandtheilen desselben bei seiner Gesammtleistung zukommt.

Die erste Thätigkeit in dem Abbildungsvorgange besteht danach in der durch das combinirte Objectivsystem $(S_1 + L_2)$ bewirkten Erzeugung eines den parallelstrahligen Büscheln entsprechenden unendlich entfernten virtuellen Bildes, welches zufolge der Gleichung $tg\, u = \frac{h^*}{f_1}$ (Seite 9) durch die Brennweite des Objectives und den linearen Durchmesser des Objectes nach dem Gesichtswinkel, unter welchem es erscheint, bestimmt ist. Dabei erfolgt die Flächenausbreitung des Bildes praktisch so gut wie vollkommen nach den Gesetzen für die Abbildung eines unendlich kleinen Flächenelementes, während dabei zugleich die Divergenzänderung von Strahlenkegeln grossen Oeffnungswinkels, wie sie von den einzelnen Objectpunkten ausgehen, zur Geltung kommt.

Das Ocular, welches gemäss unserer Zerlegung in Verbindung mit L_1 ein rein teleskopisches System vorstellt, hat nun den zweiten Schritt der Abbildung zu vollziehen, welcher darin besteht, dass es das unendlich entfernte virtuelle Bild vermöge der innerhalb dieses teleskopischen Systemes stattfindenden Brechungen in der Weite des deutlichen Sehens auf einen der teleskopischen Vergrösserung entsprechenden, grösseren Sehwinkel ausbreitet, wobei es die Aenderung der Divergenz-

winkel der ihm zugeleiteten Strahlenbüschel bis auf unmerkliche Abweichungen so vollzieht, wie sie bei unendlich engen Strahlenkegeln erfolgt, während dabei die Ausbreitung einer Bildfläche auf grossen Bildwinkel hervortritt.

Damit ist aber die sachliche Grenzscheide gegeben, an welcher die Objectivwirkung aufhört und die Ocularfunction beginnt. Diese Grenze fällt nämlich, oder kann immer verlegt werden, in die hintere (obere) Brennebene des Objectivsystemes, d. h. dahin, wo die von den einzelnen Objectpunkten divergent in das Objectivsystem eingetretenen Strahlenbüschel in diesem durch wiederholte Brechung (einschliesslich derjenigen an der concaven Fläche der ideellen Zerstreuungslinse L_2) in parallelstrahlige Büschel umgewandelt und von wo aus sie durch eine weitere Brechung (in der ideellen Sammellinse L_1) nach dem Ocular hin convergent gemacht werden.

38 Auf Grund des geschilderten Ineinandergreifens von Objectivwirkung und Ocularfunction beantworten sich zahlreiche wichtige, auf die Theorie des Mikroskopes und die zweckentsprechende Construction seines optischen Apparates bezügliche Fragen, z. B. nach dem Sitze der verschiedenen Fehlerquellen, nach den Mitteln zu ihrer Beseitigung, nach der Grenze der unter gegebenen Verhältnissen möglichen Vollkommenheit der Abbildung, nach der Wirkung, welche verschiedene Constructionselemente, wie die Brennweite des Objectivsystemes, die Tubuslänge und die Ocularstärke, auf die Höhe der Gesammtleistung u. s. w. äussern.

Hier haben wir zunächst die in den unvermeidlichen Resten der Aberrationen begründeten Abbildungsfehler einer näheren Betrachtung zu unterziehen, welche gemäss der Art, wie sie bei dem zusammengesetzten Mikroskope in Folge der grossen Oeffnungswinkel seiner Objectivsysteme in die Erscheinung treten, nach Professor Abbe, der denselben zuerst und allein eine ausführliche und gründliche Untersuchung gewidmet hat, in zwei Classen zerfallen: Fehler der Focalwirkung — Abweichungen im engeren Sinne — und Fehler der Flächenausbreitung oder der Vergrösserung.

Die Abweichungsfehler der ersten Classe, zu denen

1. die sphärische Abweichung,
2. die chromatische Abweichung,
3. die chromatische Differenz der sphärischen Abweichung

gehören, bedingen allein den Grad der Vollkommenheit der Strahlenvereinigung in der Mitte des Sehfeldes.

Die zweite Classe fasst eine Reihe eigenthümlicher Abweichungen von dem regelrechten Strahlenverlaufe in sich, welche sämmtlich darin ihren Grund haben, dass die verschiedenen Theile eines die freie Objectivöffnung ausfüllenden homocentrischen Strahlenkegels je nach der verschiedenen Neigung dieser Theile gegen die optische Achse und je

nach der ungleichen Brechbarkeit der einzelnen Farben, Bilder von ungleicher Vergrösserung liefern, und zwar ungleich, wenn einerseits die verschiedenen Einzelbilder unter einander, oder andererseits verschiedene Richtungen in dem Sehfelde innerhalb je eines Bildes verglichen werden. Aus diesen Abbildungsfehlern, welche vom Professor Abbe als Anomalien der Vergrösserung bezeichnet werden, entspringen die Unvollkommenheiten der Abbildung ausserhalb der Achse, sowie eine besondere Art von chromatischen Fehlern, welche man bisher als chromatische Abweichung gedeutet hat, welche aber zu dieser im strengen Sinne nicht gehören.

Abweichungen dieser zweiten Classe sind:

1. Echte Vergrösserungsfehler.
   a) Die Differenz der Vergrösserung in verschiedenen Zonen des Objectivsystemes, d. h. die verschiedene Vergrösserung der Bilder, welche durch Strahlenbüschel von verschiedener Neigung zur Achse des ersteren erzeugt werden — Convergenzfehler.
   b) Die chromatische Differenz der Vergrösserung — verschiedene Brennweite für verschiedene Farben.
2. Sphärische Abweichung ausser der Achse.
3. Wölbung des Sehfeldes.
4. Verzerrung des Bildes, d. h. orthoskopische Fehler für die Kreuzungspunkte der Hauptstrahlen.
5. Astigmatische Differenz der Vereinigungsweite.

39 Die sphärische Abweichung zeigt, wie wir S. 24 gesehen haben, für jeden bestimmten Neigungswinkel u der abbildenden Strahlen eine Reihe von selbständigen, mit bestimmten Coefficienten behafteten und nach den geraden Potenzen von u fortschreitenden Gliedern, welche mit der zunehmenden Neigung der Strahlen gegen die optische Achse und in den verschiedenen Theilen des Objectivsystemes in diesem Fortschreiten mit sehr ungleichförmigem Gange anwachsen.

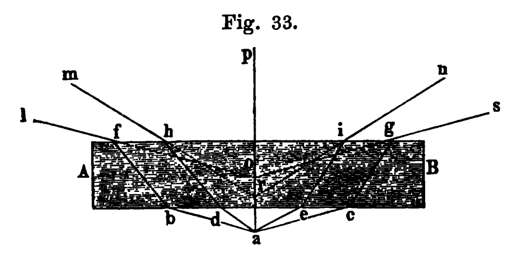
Die Ausgleichung der an der Vorderfläche eines Objectivsystemes eingeführten Abweichungen kann daher in den hinteren Linsencombinationen nur in Bezug auf die beiden ersten Glieder herbeigeführt werden. Geht die Winkelöffnung eines Objectivsystemes über eine kleine Grösse hinaus, dann kann jene nur in der Weise bewirkt werden, dass man die nicht aufhebbaren höheren Glieder durch absichtlich herbeigeführte Reste der niederen ins Gleichgewicht zu setzen sucht, wobei jedoch immer noch Reste der Abweichung übrig bleiben, deren Beträge um so grösser ausfallen, je grösser die Neigungswinkel der eintretenden Strahlen werden. Dieses Ausgleichungsverfahren hat also immer und nothwendigerweise noch einen nicht zu vermeidenden Ausfall zur Folge und es bestimmt dessen Anwachsen die Grenze, welche die Grösse des Oeffnungswinkels erreichen darf, sowie die Grundform, welche bei der Construction

der Objectivsysteme angewendet werden muss, wenn derselbe das mikroskopische Bild nicht in unzulässiger Weise schädigen soll. Sind merkliche Reste von sphärischer Abweichung in einem Objectivsysteme geblieben, so können dieselben, da sie ihren Ursprung in denjenigen Brechungen innerhalb des letzteren haben, bei welchen eine grosse Divergenz der Strahlenkegel im Spiel ist, nicht mehr an solchen Stellen gehoben werden, wo die Divergenzwinkel schon sehr gering geworden sind, also weder in den Ocularen noch in Correctionsgläsern über dem System. Alles was durch derartige Einrichtungen, seien es solche letzterer Art, seien es eigenartige Ocularconstructionen, erreicht werden kann, ist immer auch durch eine zweckentsprechende Construction der Objectivsysteme selbst zu erzielen.

Eine der sphärischen Abweichung analoge Erscheinung ruft der 1830 von Amici entdeckte Einfluss des Deckglases hervor, der sich namentlich bei stärkeren mit grosser Oeffnung versehenen Objectiven geltend macht. In Folge dieses Einflusses erscheinen nämlich die Bilder solcher Objective, welche mit Rücksicht auf unbedeckte Probeobjecte hergestellt wurden, mit nicht unbedeutenden Abweichungsfehlern behaftet, sobald man mit einer dünnen Glasplatte bedeckte Objecte mittelst derselben beobachtet. Derselbe Fehler tritt ein, wenn man Objectivsysteme, die unter Benutzung eines Deckglases von bestimmter Dicke construirt wurden, zur Beobachtung unbedeckter oder mit Deckgläsern von abweichender Dicke bedeckter Objecte verwendet. Den Grund dieser Erscheinung haben wir in der Brechung der Lichtstrahlen durch eben- und parallelflächige Glasplatten zu suchen.

In Folge dieser Brechung stellt sich nämlich der Punkt a (Fig. 33) bildlich als eine Reihe von unendlich vielen in der Achse ap über

Fig. 33.



einander liegenden Punkten dar, von denen der der oberen Fläche zunächst gelegene von den am schiefsten auffallenden Strahlen gebildet wird und umgekehrt. Denken wir uns an der Stelle des einzelnen Punktes einen leuchtenden Gegenstand, so wird von demselben eine Schicht über einander liegender, sich deckender Bilder entstehen, welche um so dicker wird, je mehr die Glasplatte an Dicke zunimmt. Wir haben hier also ganz dieselbe Erscheinung, welche wir bei den Linsen als sphärische Abweichung kennen lernten, indem durch jene Verschiebungen in gewissem Grade eine Ueberverbesserung eintritt, welche

immer einen nicht unbedeutenden nachtheiligen Einfluss auf die Deutlichkeit der mikroskopischen Bilder äussert. Ist ein Objectivsystem für ein nicht bedecktes Object eingerichtet, so muss dessen Verbesserung durch den Einfluss des Deckglases natürlich eine Störung erleiden, welche mit der Dicke des letzteren an Grösse zunimmt. Ganz in gleicher Weise wird sich aber auch ein Deckglas geltend machen, welches in seiner Dicke von demjenigen abweicht, das bei der Construction des betreffenden Objectivsystemes von dem Optiker benutzt wurde.

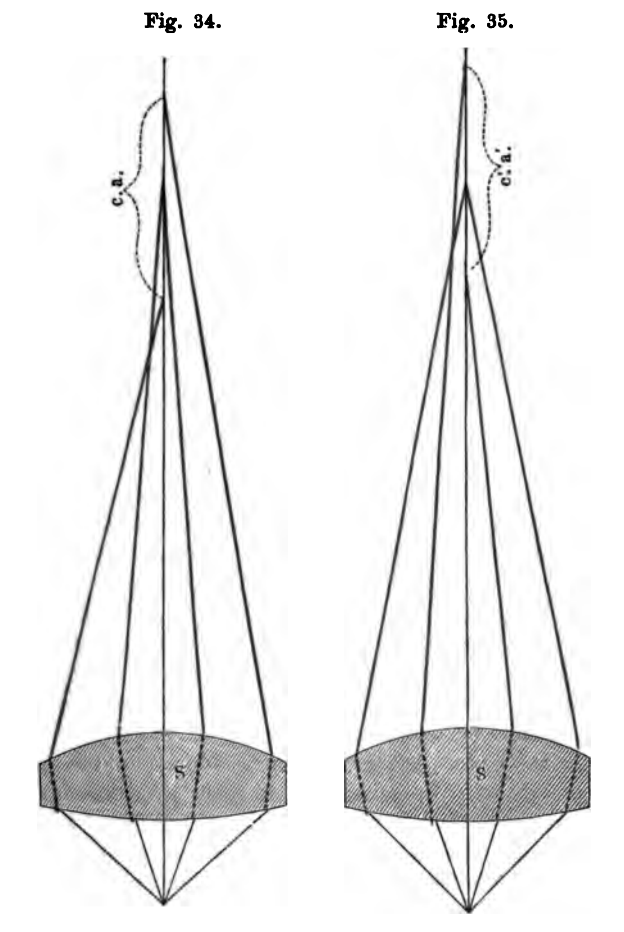
Ein der sphärischen Abweichung angehöriger Rest der Farbenabweichung, die chromatische Differenz der sphärischen Abweichung (nach Abbe's Bezeichnung), hat ihren Grund in der den verschiedenen Glasarten eigenen ungleichen Farbenzerstreuung, zufolge der die sphärische Abweichung einer einfachen Sammel- oder Zerstreuungslinse für die verschiedenen Farben ungleiche Beträge und ihr Unterschied zwischen Roth und Blau eine, je nach der Dispersion der betreffenden Glasart verschiedene Grösse hat, welche einen ungleichen Gang zwischen der positiven und der negativen (d. h. der ausgleichenden) sphärischen Abberration in dem Systeme bedingt. Es erscheint daher, wenn für die rothen Strahlen die richtige Ausgleichung erzielt ist, die sphärische Abweichung der Flintglaslinsen für Blau überwiegend, sie befindet sich umgekehrt für Roth im Rückstande, wenn die blauen Strahlen zur genauen Vereinigung gebracht sind. Daher bleibt eine corrigirte Doppellinse oder ein beliebig zusammengesetztes Linsensystem in dem einen Falle für Blau sphärisch überverbessert, in dem anderen für Roth sphärisch unterverbessert.

Die Wirkung dieses Abweichungsfehlers kommt in Form einer eigenthümlichen, mit zunehmender numerischer Apertur sich rasch steigernden Verschiedenheit zur Erscheinung, welche die Farbenabweichung der Objectivsysteme in Bezug auf verschieden geneigte, also auf verschiedene Zonen der freien Oeffnung treffende Strahlenbüschel erkennen lässt. Ist ein solches System für den mittleren Theil, d. h. für die centralen Strahlen, chromatisch möglichst genau corrigirt und treffen für diese Roth und Blau an derselben Stelle der Achse zusammen, so muss der blaue Randstrahl die Achse in grösserer Entfernung schneiden als der rothe Randstrahl (Fig. 34). Das System erscheint sonach für schiefes Licht wie chromatisch überverbessert und während es bei gerader Beleuchtung die günstigsten grün und rosa umsäumten Bilder gewährt, zeigt es bei excentrischem Lichteinfalle merklich breite gelbe und blaue Farbensäume an den Grenzen der abgebildeten Objecte. Umgekehrt muss, wenn das Objectivsystem für die äussersten Zonen der Oeffnung möglichst abweichungsfrei gehalten ist, d. h. wenn für die schiefsten (Rand-) Strahlen Roth und Blau auf der Achse zur Vereinigung gebracht sind, der blaue Achsenstrahl die Achse früher treffen als der rothe Achsenstrahl, Fig. 35, und das erstere für gerades Licht als chromatisch unterverbessert erscheinen. Schiefe Beleuchtung

erzielt scharfe Zeichnung und schmale secundäre, violette und grüne Farbensäume, während bei geradem Lichte schlechte, mit tiefen rothen und blauen Farbensäumen umgrenzte Bilder auftreten.

Die chromatische Differenz der sphärischen Abweichung kann mittelst der zur Zeit der optischen Technik zu Gebote stehenden Materialien nicht beseitigt werden, und ihr Einfluss ist so bedeutend, dass er

Fig. 34. Fig. 35.



die Leistungsfähigkeit der mittleren Systeme von 6 bis 3 mm Brennweite schon weit unter diejenige Höhe herabdrückt, welche sie bei sonstiger Vollkommenheit der Construction zu erreichen im Stande sein würde.

Die Reste der chromatischen Abweichung, soweit sie ihren Grund in der verschiedenen Lage der Brennpunkte der verschiedenfarbigen Strahlen, also in derjenigen Farbenabweichung haben, welche die Strahlenkegel im Ganzen treffen, lassen sich bis auf geringe secundäre Farben- 40

abweichungen, welche aus dem ungleichförmigem Gange der Farbenzerstreuung in Crown- und Flintglas entspringen, bei einer geeigneten Construction, wo nicht vollständig aufheben, so doch fast unmerklich machen, so dass sie anderen Farbenfehlern gegenüber, wie wir sie eben betrachtet haben und noch kennen lernen werden, fast gänzlich zurücktreten.

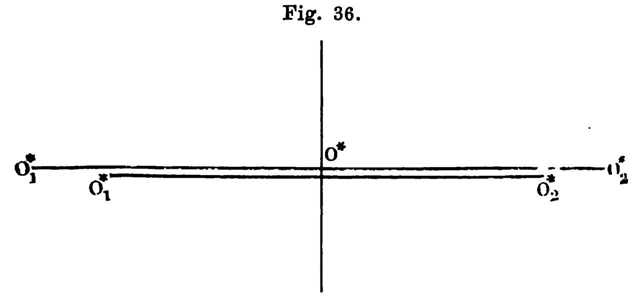
41 Die Vergrösserungsfehler zerfallen in Abweichungen nach zwei Richtungen hin, indem die eine eine Differenz der Vergrösserung in verschiedenen Zonen der freien Objectivöffnung, die andere eine Verschiedenheit der Vergrösserung der Bilder von verschiedenen Farben in sich fasst. Diese Fehler haben bei den Objectivsystemen des Mikroskopes, bei welchen Strahlenkegel von sehr grossen Divergenzwinkeln wirksam werden, natürlicherweise nach beiden Richtungen hin einen sehr weiten Spielraum.

Die erstere Abweichungsform macht sich nach dem Früheren (Seite 28 u. f.) auch bei auf der Achse vollständig gehobener sphärischer Abweichung darin geltend, dass das Bild eines in der Achse liegenden Flächenelementes, welches von einem zur Achse mehr oder weniger geneigten Strahlenbüschel, also durch einen mehr oder minder excentrischen Theil der freien Oeffnung des Objectives erzeugt wird, eine andere lineare Vergrösserung zeigt, als dasjenige Bild, welches zugleich mit ihm von einem centralen Strahlenbüschel, sohin durch den mittleren Theil der Oeffnung, von demselben Flächenelement entworfen wird, sowie dass in den Bildern erster Art ausserdem noch eine nach verschiedenen Meridianen verschiedene lineare Vergrösserung und zugleich eine Niveaudifferenz auftreten kann, der Art, dass ihre Lage gegen die optische Achse als eine mehr oder minder geneigte erscheint. Durch diese Wirkungen wird — ausserhalb der Achse wenigstens — eine genaue Uebereinanderlagerung der einzelnen Bilder, welche das mikroskopische Gesammtbild erzeugen, nicht mehr möglich, es fallen dieselben mit zunehmendem Abstande von der Achse im Verhältniss zu diesem Abstande weiter und weiter aus einander. Die von ausserhalb der Achse gelegenen Objectpunkten ausgehenden Strahlenkegel werden in Folge hiervon in nicht mehr vereinigungsfähige Strahlenbüschel umgewandelt und es stellen deren Durchschnitte in der Bildebene elliptische Flächen dar, welche in ihren Ausmaassen proportional mit dem Abstande von der Achse wachsen. Sind merkliche, durch die freie Oeffnung fortschreitende Fehler dieser Art vorhanden, dann erscheint ein ebenes Object, wie ein Bild einer von der Achse aus gesehenen Kegelspitze, also nicht mehr einfach gewölbt. Die Beseitigung dieses Fehlers, deren Bedingung in der Gleichung auf Seite 30 gegeben ist, bildet einen der wichtigsten, aber auch schwierigsten Punkte in der Construction der Objectivsysteme und es kann derselbe bei grossen Oeffnungswinkeln selbst bei der besten Construction nicht gänzlich gehoben werden.

Die durch die chromatische Differenz der Vergrösserung hervorgerufenen Bildfehler beruhen darauf, dass bei einem optischen

Systeme, in welchem, wie bei dem Mikroskopobjective zur Herbeiführung der theilweisen Achromasie eine unachromatische, d. h. chromatisch unterverbesserte Vorderlinse mit einer entsprechend überverbesserten Linse oder Linsenverbindung verbunden erscheint, und die Vereinigungspunkte der blauen und rothen Strahlen in eine Ebene gebracht sind, die Convergenzwinkel der letzteren auch selbst für den Achsenpunkt O^* der Bildebene verschieden bleiben und in Folge davon die Bilder der verschiedenen Farben, trotzdem sie in derselben Ebene entstehen, verschiedene Grösse gewinnen und das blaue Bild über das rothe übergreift (Fig. 36). Diese Vergrösserungsdifferenz ist zwar bei Objectivsystemen von sehr grosser Oeffnung auch für centrale Strahlen schon vorhanden, jedoch nicht sehr merkbar; dagegen tritt sie für excentrische Strahlen-

Fig. 36.

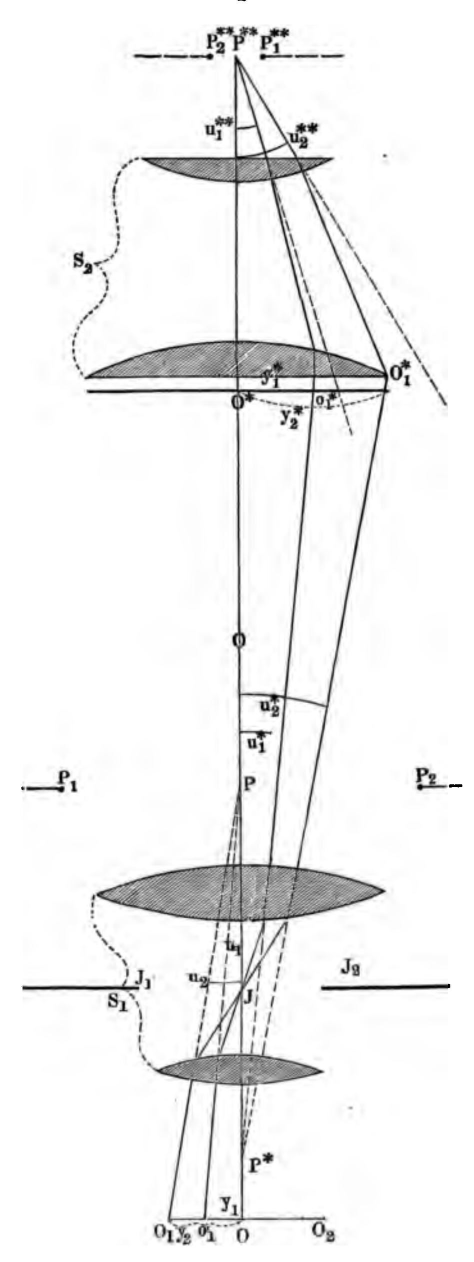


büschel, d. h. bei schiefem Lichte, sehr entschieden, und zwar wieder als nach zwei Richtungen hin ungleich, durch starke Farbensäume gekennzeichnet, hervor.

Die sphärische Abweichung ausserhalb der Achse, wie sie sich bei unseren Objectivsystemen mit grossem Oeffnungswinkel geltend macht, ist darin begründet, dass selbst bei genauer Aufhebung der sphärischen Abweichung auf der Achse die Lichtbüschel, welche von excentrischen Objectpunkten aus verschiedene Theile der Oeffnung in Thätigkeit setzen, nicht mehr in einem Punkte zur Vereinigung gelangen, sondern mit ihren Spitzen hinter und neben einander liegen. Dadurch treten Verschiebungen der partiellen Bilder nach verschiedenen Querschnittsebenen sowohl, als nach den Seiten hin hervor, welche nicht selten in recht auffälliger Weise bemerkbar werden, und die nur unter Einhaltung bestimmter Grenzen für die Grösse der Oeffnung in erträglichen Schranken gehalten werden können. 42

Hand in Hand mit dem durch die vorhergehende Abweichung hervorgebrachten Niveauunterschied gehen diejenigen Bildfehler, welche als Wölbung des Gesichtsfeldes bekannt sind und dadurch hervorgerufen werden, dass die Vereinigungsweiten der von verschieden weit von der Achse entfernten Objectpunkten ausgehenden Strahlenkegel in verschiedenen Ebenen liegen. Dieselben bedingen die Verschiedenheit der Einstellung für verschieden weit aus der Mitte des Sehfeldes gelegene Objectelemente.

43



Die Verzerrung des Bildes, d. h. die Aufhebung der Proportionalität der Achsenabstände zweier zugeordneter Punkte in zugeordneten Querschnitten des Object- und Bildraumes beruht auf Fehlern der Strahlenconvergenz in denjenigen zugeordneten Punkten der Achse, in welchen die Eintritts- und Austrittspupille ihren Ort haben. Soll diese Proportionalität und damit die Bildähnlichkeit (Verzerrungslosigkeit) bestehen bleiben, so erfordert dies, dass die Strahlenconvergenz an denjenigen Punkten, in welchen die Hauptstrahlen der abbildenden Strahlenkegel die Achse treffen, in bestimmter Art regulirt sein muss — nämlich so, dass an diesen Punkten ein constantes Verhältniss der Tangenten der Neigungswinkel aller zugeordneten Strahlen besteht. Die in Frage kommenden zugeordneten Punkte sind aber die Mittelpunkte von Eintrittspupille und Austrittspupille des Objectivsystemes oder des ganzen Mikroskopes, je nachdem die Wirkung des ersteren für sich oder diejenige des Gesammtsystemes betrachtet wird. Sofern die Strahlenconvergenz an diesen Punkten der obigen Bedingung genügt, sobald also (Fig. 37) für das Objectiv

$$\frac{tg\, u_1^*}{tg\, u_1} = \frac{tg\, u_2^*}{tg\, u_2},$$

oder für das ganze Mikroskop

$\frac{tg\,u_1^{**}}{tg\,u_1} = \frac{tg\,u_2^{**}}{tg\,u_2}$ gleich einer Constanten, d. h. $\frac{1}{N} \cdot \frac{n}{n^*}$ ist (wobei im ersten Falle N die Vergrösserung des Objectivs, im anderen des ganzen Mikroskopes vorstellt), nennen wir sie — im Gegensatz zu den zugeordneten aplanatischen Punkten eines Systemes — nach dem von Professor Abbe eingeführten Sprachgebrauche zugeordnete orthoskopische Punkte.

Die astigmatische Differenz der Vereinigungsweiten excentrischer Strahlenbüschel beruht auf der ungleichen Wirkung der Krümmung der Linsenfläche in zu einander senkrechten Meridianen. Sie bedingt einen verschiedenen Abstand der Vereinigungspunkte der Strahlen in den gegen die Achse des Mikroskopes radialen und sagittalen Ebenen (Anacentricität) für die Strahlenbüschel von excentrischen Punkten des Objectfeldes — sofern die Strahlenbüschel im Ganzen betrachtet werden. Wenn man aber einzelne Theile der freien Oeffnung (neben- oder nacheinander) ins Auge fasst, tritt sie durch verticale und horizontale Verschiebung der partiellen Vereinigungspunkte beim Uebergange von einem zum anderen Theile der freien Oeffnung in die Erscheinung und ihre Wirkungen vermischen sich daher in der Praxis völlig mit den übrigen Vergrösserungsanomalien. 44

Von den besprochenen Abbildungsfehlern kommen diejenigen der ersten Classe und diejenigen gegen das Convergenzverhältniss der Sinus ausschliesslich in dem Objectivsysteme zur Geltung, weil ausserhalb desselben in den abbildenden Strahlenkegeln keine Divergenzen mehr auftreten, welche den von der verschiedenen Neigung der Strahlen gegen die Achse abhängigen Wirkungen einen erheblichen Spielraum gewähren könnten und weil andererseits eine nennenswerthe chromatische Längenabweichung in den Ocularen durch die auf S. 23 u. f. gegebenen Nachweise über die chromatische Abweichung in der Loupe ausgeschlossen erscheint. Die orthoskopischen Fehler dagegen haben nur für die Oculare eine praktische Bedeutung, weil in der Wirkung der Objective umgekehrt kein Spielraum bleibt für irgend eine erhebliche Divergenz der Hauptstrahlen, indem das Objectivbild stets nur geringe Bildwinkel umfasst. Die übrigen zuvor erörterten Abweichungen können im Objectsysteme und im Oculare zugleich zur Geltung kommen. 45

Aus diesen Thatsachen lässt sich nun der Einfluss feststellen, welchen die verschiedenen Bestandtheile des optischen Apparates auf die Eigenschaften der Gesammtwirkung des zusammengesetzten Mikroskopes äussern, und damit die Trennung der Objectivwirkung und Ocularfunction durchführen. Wir ersehen daraus zunächst, dass die für die scharfe und genaue Abbildung in der Mitte des Sehfeldes und damit für die eigentliche Leistungsfähigkeit bedeutungsvollsten Factoren, d. h. die sphärische und chromatische Abweichung, die chromatische Differenz der sphärischen Abweichung auf der Achse, sowie die Vergrösserungsfehler

in Folge Verstosses gegen das Sinusgesetz ihren Sitz einzig und allein in der Focalwirkung des Objectivsystemes haben und dass das Ocular auf dieselben keinen irgendwie merklichen Einfluss gewinnen kann. Alle Abbildungsfehler, an welchen das Ocular mit betheiligt ist, stecken der Vollkommenheit der Gesammtleistung ausserdem nur insofern eine Grenze, als noch unvermeidliche Reste der ersteren in der Wirkung des Objectivsystemes vorhanden geblieben sind. Es finden sohin alle diejenigen Abbildungsfehler, welche auf die Wirkung des Instrumentes überhaupt einen wesentlichen Einfluss gewinnen, schon ihren Ausdruck in dem unendlich entfernten, virtuellen Bilde, welches das Objectsystem als Loupe wirkend von dem der Beobachtung unterworfenen Objecte erzeugt.

Der Ocularapparat, wie er sich aus der optischen Tubuslänge und dem betreffenden Linsensysteme zusammensetzt und als Fernrohr wirkend nur dazu dient, um das Loupenbild für das Auge auf den erforderlichen Sehwinkel auszubreiten, kann, von groben Verstössen abgesehen, den in der Focalwirkung des Objectivsystemes begründeten Abweichungen und Vergrösserungsanomalien gegenüber in allen wesentlichen Punkten praktisch als vollkommen fehlerfrei angesehen werden und zwar auch selbst dann, wenn die einfachsten bekannten Constructionsformen zur Anwendung kommen.

Daraus geht aber hervor, dass gemäss der durchgeführten Zerlegung der den Bestandtheilen des optischen Apparates eigenen Functionen *die möglichste Höhe der Leistung des zusammengesetzten Mikroskopes allein durch die Construction der Objectivsysteme bedingt wird und dass keinerlei Vervollkommnung der Oculare dieselbe in irgend einer Weise wesentlich zu beeinflussen vermag.*

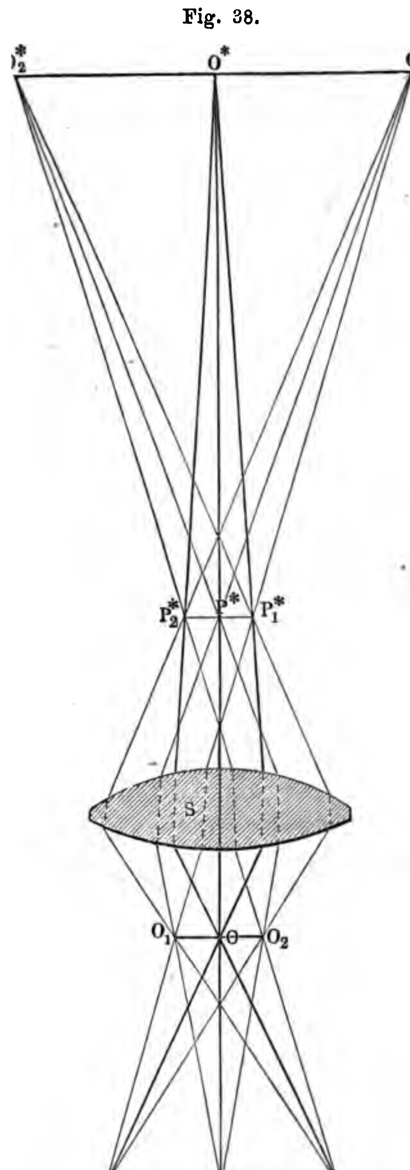
IV. Die Abbildung mikroskopischer Objecte.

1. Directe und secundäre Abbildung.

46 Bei der früher gebräuchlichen Darlegung der mikroskopischen Bilderzeugung ging man davon aus, dass eine geometrische, punktweise Abbildung des Objectes stattfinde. Eine solche punktweise, nach den Regeln der geometrischen Optik bestimmte Abbildung erscheint indessen nur so lange in Uebereinstimmung mit der Wellentheorie, als erstens die von den einzelnen Objectpunkten ausgehenden Strahlenbüschel Kugelwellen sind, d. h. alle Strahlen je eines solchen Strahlenbüschels in gleichem Abstande von dem Mittelpunkte gleiche Wellenphase darstellen und als zweitens die von benachbarten Objectpunkten ausgehenden Strahlen incohärente sind, oder von einander unabhängige Kugelwellen

ilden. Nun ist dies nur dann der Fall, wenn es sich um die Abbildung elbstleuchtender Körper handelt, wobei jeder Bildpunkt die der Oeffnung des abbildenden Linsensystemes entsprechende mit Zunahme der Grösse dieser Oeffnung mehr und mehr der ideellen Grenze, d. h. dem Punkte sich nähernde Beugungsfigur jedes Objectpunktes (leuchtenden Punktes) und das ganze Bild die Uebereinanderlagerung der Beugungsfiguren der einzelnen Objectpunkte darstellt und die Bildebene in eine punktweise Wiedergabe der Lichtvertheilung in der Objectebene übergeht. Es trifft aber nicht mehr zu, wenn Gegenstände irgend einer Art mittelst zurückgeworfenen oder durchfallenden Lichtes abgebildet werden, wie es bei der mikroskopischen Bilderzeugung allgemein der Fall ist. Auf diese können daher, wie Professor Abbe zuerst und eingehend bewiesen hat, die Begriffe und Bestimmungsweisen der geometrischen Optik keine berechtigte Anwendung finden.

Fig. 38.



Ist S (Fig. 38) ein aplanatisches Linsensystem, welches von einem theilweise durchsichtigen Gegenstande, z. B. einem mikroskopischen Präparate, Streifensystem, Gitter oder dergl. in der der Objectebene O zugeordneten Bildebene O^* ein Bild erzeugen soll und bildet $P_1 P P_2$ eine hinter dem Objecte befindliche Lichtquelle, von deren einzelnen Punkten aus Strahlen durch ie durchsichtigen Theile von $O_1 O O_2$ hindurchtreten, so lehrt eine einsche Betrachtung, dass bei der hier bewirkten Abbildung des Objectes

eine Bilderzeugung im gewöhnlichen Sinne des Wortes nicht statthaben kann, weil die von je einem Objectpunkte O_1,O und O_2 aus divergirenden, der Ausdehnung der Lichtquelle entsprechenden, allerdings in den Punkten O_1*, O* und O_2* ihre Vereinigung findenden Strahlenbüschel aus von verschiedenen Punkten der Lichtquelle P_1, P und P_2 abgeleiteten, also incohärenten Strahlen, die von den verschiedenen Objectpunkten ausgehenden, denselben Punkt der Lichtquelle entsprechenden aber aus cohärenten Strahlen bestehen. Und wenn auch unter diesen Umständen in vielen Fällen eine scheinbar mit der Bestimmungsweise der geometrischen Optik übereinstimmende Abbildung erfolgt, so ist dieselbe doch — wie weit auch diese scheinbare Uebereinstimmung reichen mag — eine von der Abbildung selbstleuchtender Objecte im Grunde verschiedene und eigenartige Erscheinung, welche eine selbständige Erklärung und Bestimmung nothwendig macht und der Theorie die Aufgabe stellt, nachzuweisen, wie und nach welchen Gesetzen die Bilder von nicht selbstleuchtenden Gegenständen erzeugt werden.

Die Betrachtung unserer Figur zeigt, dass durch das optische System S jedenfalls die in der Ebene $P_1 P P_2$ vorausgesetzte Lichtquelle — reell oder virtuell — unmittelbar abgebildet werden muss, indem alle von deren einzelnen Punkten aus divergirenden Strahlenbüschel alle oben gestellten Bedingungen erfüllen. Da wo diese Strahlenbüschel zur Wiedervereinigung kommen, d. h. in der Ebene $P_1{}^* P^* P_2{}^*$, muss eine punktweise Abbildung der leuchtenden Fläche $P_1 P P_2$ eintreten und jeder einem Punkte der letzteren zugeordnete Punkt der ersteren bezeichnet den Ort für das Maximum der von einem Punkte der Ebene P hervorgerufenen Lichtwirkung, d. h. die Beugungsfigur, welche der Iris oder wirksamen Oeffnung des Systemes S entspricht. Diese Iris ist aber im vorliegenden Falle derjenige Theil der Objectebene, durch welchen Lichtstrahlen wirklichen Zutritt zu dem Systeme erlangen, und indem einzelne Stellen dieses Theiles die Schwingungen der von den einzelnen Punkten der leuchtenden Fläche ausgehenden Kugelwellen unbehindert durchtreten lassen, andere dieselben hemmen, bedingt derselbe die bestimmte Begrenzung der Kugelwellen, auf welcher die unmittelbare Abbildung als auf einem wesentlichen Punkte beruht.

Dieses, durch das optische System unter Wirkung des Objectes als strahlenbegrenzende Oeffnung, d. h. als vor dem System auftretende, stellvertretende Iris, von der Lichtquelle in der ihr zugeordneten Ebene entworfene Bild, dessen Einzelheiten erhalten werden, indem man jeden Punkt $P_1{}^* P^* P_2{}^*$ desselben in das Beugungsspectrum, welches das Object als beugende Oeffnung erzeugt, ausgebreitet denkt, und die Uebereinanderlagerung dieser sämmtlichen Spectren bestimmt, ist der einzige unmittelbare Abbildungsvorgang, welcher dem optischen Systeme unter den vorausgesetzten Umständen zugeschrieben werden darf.

Nun wollen wir aber bei der mikroskopischen Beobachtung nicht dieses Bild, sondern diejenige Lichtvertheilung kennen lernen, welche in der der Objectebene $O_1\, O\, O_2$ zugeordneten (Bild-) Ebene $O_1^*\, O\, O_2^*$ auftritt, auf die wir Auge oder Ocular einstellen, und gerade hierdurch ist die Natur der in Frage kommenden Erscheinung gekennzeichnet. Es muss nämlich erstlich die Art der Lichtwirkung, welche in der Ebene $O_1^*\, O^*\, O_2^*$ zum Ausdruck gelangt, jedenfalls von denselben Grundlagen abhängen, von denen die gleichzeitige Lichtwirkung in der eigentlichen Bildebene $P_1^*\, P^*\, P_2^*$ abhängt, zweitens muss jene eine Erscheinung von gleichem physikalischem Charakter sein wie diese, weil es sich dabei um denselben optischen Vorgang, wenn auch in einem anderen Abschnitte seines Verlaufes handelt. Das in der Ebene $P_1^*\, P^*\, P_2$ auftretende Bild, welches einerseits auf der Gesammtheit aller an seiner Gestaltung theilnehmenden leuchtenden Punkte, d. h. auf der Ausdehnung der Lichtquelle $P_1\, P\, P_2$, andererseits auf der eigenartigen Begrenzung der wirksamen Strahlenbüschel, d. h. auf der Gestaltung des Objectes $O_1\, O\, O_2$, insofern dasselbe als Eintrittsöffnung thätig ist, beruht, ist nun seiner Grundform nach das Beugungsspectrum der Lichtquelle in der Gestalt, wie es durch das betreffende Object als beugende Oeffnung erzeugt wird. Dieses Beugungsspectrum selbst, welches nichts Anderes vorstellt, als die Uebereinanderlagerung der Beugungsspectren, welche den einzelnen Punkten der Lichtquelle und den einzelnen Farben, in denen sie strahlen, entsprechen und das durch die Iris des abbildenden Systemes nur seiner Ausdehnung nach bestimmt wird (eine grössere Oeffnung gestattet die Abbildung einer ausgedehnten Lichtquelle und die Aufnahme der von den beugenden Elementen der Objecte bedingten Spectren in weiterem Umfange als eine kleinere), bildet thatsächlich eine Interferenzerscheinung, nämlich die Interferenzwirkung, welche von den Licht durchlassenden Punkten des Objectes mittelst der von ihnen ausgehenden Elementarwellen auf die Ebene $P_1^*\, P^*\, P_2^*$ ausgeübt wird. Demgemäss ist denn auch die Lichtwirkung in der Ebene $O_1^*\, O^*\, O_2^*$ eine mit dem Beugungsspectrum in Verbindung stehende Interferenzerscheinung, nämlich die Wirkung der gleichen Elementarwellen auf eine andere, weiter entfernte, in demselben Medium liegende, der Ebene $O_1\, O\, O_2$ zugeordnete Ebene.

Diese Lichtwirkung, welche unter den betrachteten Verhältnissen in der Ebene $O_1^*\, O^*\, O_2^*$ auftritt, bezeichnet man, weil dieselbe erfahrungsgemäss eine mit derjenigen des Objectes mehr oder minder ähnliche Lichtvertheilung darbietet, als Bild des letzteren. Dass sie aber kein eigentliches Bild vorstellen kann, geht aus der Betrachtung der physikalischen Bedingungen einer wirklichen Abbildung hervor. Sie ist vielmehr nichts Anderes, als eine secundäre Abbildung in Gestalt einer Interferenzerscheinung, welche neben der in Form eines Beugungsspectrums auftretenden Abbildung der Lichtquelle hergeht, oder in anderen Worten: Eine Interferenzerscheinung, welche die

Beugungswirkung des Objectes begleitet und die mikroskopische Beobachtung giebt sich sonach kund: als Beobachtung der Lichtwirkung, welche eine bestimmte Lichtquelle durch ein beugendes Object hindurchstrahlend ausserhalb der Ebene ihres scharfen Bildes hervorruft.

Da der hierbei stattfindende Abbildungsvorgang von der Ausdehnung der Lichtquelle (oder den Divergenzwinkeln der in den einzelnen Objectpunkten durchtretenden Strahlenkegel) unabhängig ist und einzig von der Wirkung der einzelnen leuchtenden Punkte der Lichtquelle bedingt wird, also auch bestehen bleibt, wenn diese auf einen einzigen leuchtenden Punkt beschränkt wird, so braucht die theoretische Bestimmung derselben, um ihre Aufgabe vollständig zu lösen, nur den Fall in Betracht zu ziehen, dass die durchfallenden Lichtstrahlen von einem unendlich kleinen Flächenelemente, also von einem leuchtenden Punkte von je einer bestimmten Farbe und beliebiger aber bestimmter Lage gegen die optische Achse des Linsensystemes ausgehen, indem die Abbildung, welche eine ausgedehntere Lichtquelle hervorbringt, sich nachher ergeben muss, wenn man die sämmtlichen den verschiedenen Punkten dieser Lichtquelle und den verschiedenen in ihr gemischten Farben zugehörigen Einzelbilder zusammenfügt.

Es ist demnach zunächst die Lichtwirkung zu bestimmen, welche ein beliebig gelegener, durch ein beugendes Object vor einem optischen Systeme hindurchstrahlender, leuchtender Punkt in der dem Objecte zugeordneten Ebene hervorbringt und zwar unter Berücksichtigung der Begrenzung, welche dabei das Beugungsspectrum innerhalb der Oeffnung des Systemes erfährt.

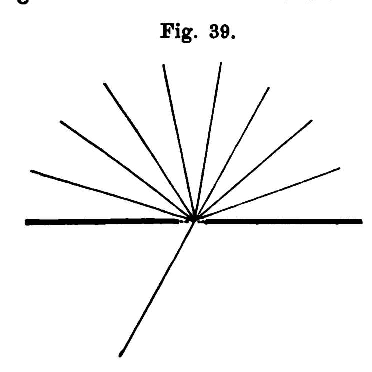
Bevor wir jedoch der mikroskopischen Bilderzeugung näher treten bei welcher das Object vor dem Mikroskopobjectiv dem Beugungsgitter vor dem Fernrohre entspricht und ganz von selbst dieselben Verhältnisse eintreten, welche bei der Beobachtung der Fraunhofer'schen Beugungserscheinungen durch die Versuchsanordnung hervorgerufen werden, wollen wir einige Sätze über eine Reihe der gedachten Erscheinungen einschalten, welche sowohl zu den theoretischen Betrachtungen und den darauf bezüglichen Versuchen, als zu der in einem folgenden Abschnitte zu besprechenden Deutung mikroskopischer Wahrnehmungen in engster Beziehung stehen und für deren Verständniss unerlässlich sind.

2. Die Fraunhofer'schen Beugungserscheinungen.

47 Wenn von einem leuchtenden Körper ausgesendete Lichtstrahlen durch ein Object hindurchgehen, welches vermöge seiner undurchsich-

tigen, halbdurchsichtigen oder brechenden Structurelemente die ununterbrochene Fortpflanzung der Lichtwellen verhindert, dann hören die Lichtstrahlen auf, als gerade Linien ihren Weg zu verfolgen. Jeder Strahlenbüschel, welcher von einem Punkte der Lichtquelle aus- und durch ein Flächenelement der Structur hindurchgeht, wird in einen Strahlenkegel gespalten (Fig. 39), dessen einzelne, um die Richtungslinie des einfallenden Strahles vertheilte Strahlen in Bezug auf ihre Abweichung von dieser Richtungslinie und ihre verhältnissmässige Lichtstärke mannigfach wechseln. Ist die Structur eine unregelmässige, so bilden die aus einem einfallenden Lichtstrahle abgelenkten oder „abgebeugten" Strahlen einen ununterbrochenen Lichtkegel, dessen einzelne Strahlen je nach dem Ablenkungswinkel eine verschiedene, mit Zunahme der Ablenkung mehr oder minder rasch abnehmende Lichtstärke besitzen. Bei solchen Structuren dagegen, welche durch eine grosse Anzahl von ähnlichen oder gleichen Elementen in irgend welcher regelmässigen Anordnung gebildet sind, wird jeder einfallende Lichtstrahl in ein Bündel von vereinzelten Strahlenbüscheln aufgelöst, welche in Reihen oder regelmässigen Gruppen um die Einfallsrichtung angeordnet erscheinen.

Fig. 39.

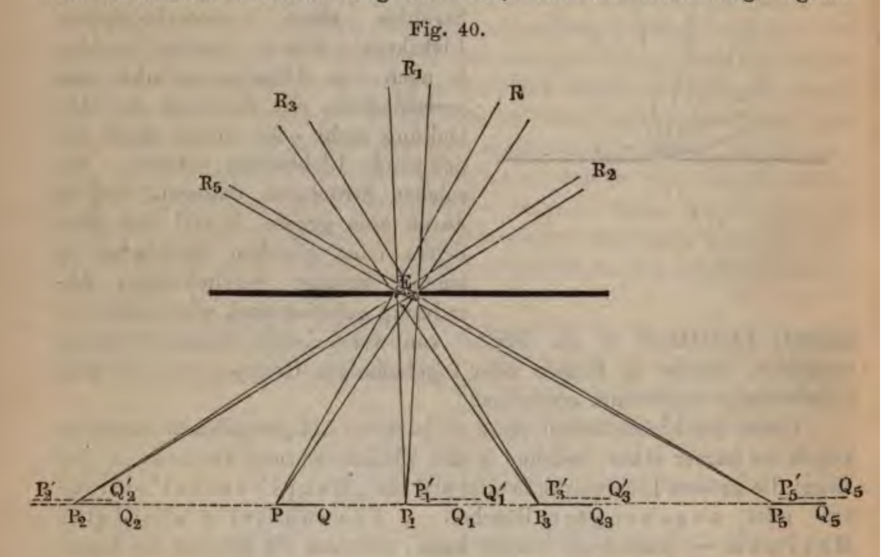


Unter den Lichtbüscheln eines in letzterer Art gespaltenen Strahlenkegels ist immer einer, welcher in der Einfallsrichtung verläuft, in der Regel die grösste Lichtstärke besitzt und als „Hauptbüschel" directer oder ungebeugter Büschel. — Fraunhofer's absolutes Maximum — bezeichnet werden kann, während die übrigen an Lichtstärke in dem Maasse abnehmen, als sie weiter von der Einfallsrichtung abgebeugt werden. Diese letzteren Strahlenbüschel, welche in Folge der raschen Abnahme der Lichtstärke nach beiden Seiten von der in Bezug auf die Intensität der Lichtstrahlung bevorzugten Richtung, als durch dunkle Zwischenräume von einander getrennt erscheinen, stellen die Maxima zweiter Ordnung Fraunhofer's dar.

Die Winkelausbreitung des Beugungskegels hängt einestheils von der linearen Ausdehnung und der Entfernung der beugenden Elemente unter einander, anderentheils von der Wellenlänge des Lichtes ab. Werden ähnliche Structuren, welche nur in der Grösse ihrer Elemente verschieden sind, unter sonst gleichen Umständen unter einander verglichen, so ist die Anordnung der Beugungsbüschel um die Einfallsrichtung stets eine ähnliche; aber die Winkelausbreitung des Beugungskegels kann beträchtlich wechseln. Betragen z. B. die linearen Entfernungen der ablenkenden Elemente (je von ihrer Mitte aus gemessen)

ein ansehnliches Vielfaches der Wellenlänge, so sind alle abgebeugten Strahlenbüschel von merkbarer Lichtstärke in einem engen Kegel umfasst; sinken aber diese Entfernungen auf geringe Vielfache oder gar auf Bruchtheile der Wellenlänge herab, dann können Beugungsbüschel von noch merklicher Lichtstärke bis an die Grenzen der Halbkugel hin auftreten. Zieht man die Ablenkungen in Betracht, welche Strahlen verschiedener Farben durch ein und dieselbe Structur erleiden, so ergeben die kürzeren Wellenlängen (Blau z. B.) stets engere Beugungskegel als die längeren (Roth). Daraus folgt weiter, dass die beugende Wirkung irgend einer Structur eine verschiedene ist, je nachdem dieselbe von verschiedenen Medien umgeben wird, indem die Wellenlänge irgend

Fig. 40.



einer gegebenen Farbe für verschiedene Medien in dem umgekehrten Verhältnisse der Brechungsindices wechselt.

Wird ein sehr kleines Flächenelement E (Fig. 40) einer aus zahlreichen regelmässig angeordneten Elementen gebildeten, beugenden Structur, von einer in beträchtlicher Entfernung befindlichen, Licht von einer bestimmten Wellenlänge, d. h. monochromatisches Licht ausstrahlenden Lichtquelle, beleuchtet, so wird der unendlich enge durch das Flächenelement E begrenzte von dem Punkte P der leuchtenden Fläche ausgehende Einfallskegel durch die Wirkung der vorausgesetzten Structur in eine Menge von einzelnen Beugungsbüscheln aufgelöst, welche von E aus in verschiedenen Richtungen $R_1\ R_2\ R_3$ . . . ausstrahlen. Jeder dieser Beugungsbüschel kann rückwärts verfolgt werden, und ergiebt dann die virtuellen durch dunkle Zwischenräume getrennten Punkte $P_1\ P_2\ P_3$ . . ., welche vor der Ebene E liegen und von denen er als aus- und ohne Beugungswirkung nach den Gesetzen geradliniger Fortpflanzung

durch das Object hindurchgegangen angesehen werden kann. In der That wird ein sehr nahe an E herangebrachtes, den ganzen Beugungskegel umfassendes Auge die einzelnen Beugungsbüschel $R_1 R_2 R_3$ . . . so sehen, als ob sie von den entfernten Punkten $P_1 P_2 P_3$ . . . ausgegangen und in gerader Linie durch das Flächenelement E hindurchgetreten wären. Das Auge sieht dann durch die beugende Structur hindurch statt eines leuchtenden Punktes eine Menge von leuchtenden Punkten in einer durch P gehenden Fläche, d. h. das virtuelle Beugungsspectrum der betreffenden Structur. Hätte man statt des Auges eine Sammellinse dicht hinter die beugende Structur gebracht, so würden die abgebeugten Strahlenbüschel unter der gemachten Voraussetzung in der hinteren Brennebene dieser Linse zu reellen Bildpunkten vereinigt, also ein reelles Beugungsspectrum entwickelt worden sein, welches dort durch einen Schirm aufgefangen, oder mittelst einer passenden Vorrichtung (z. B. das besprochene Hülfsmikroskop) beobachtet werden könnte.

Würde an die Stelle des leuchtenden Punktes P eine ebensolche Fläche PQ von bestimmter Ausdehnung treten, so würden die von den einzelnen Punkten dieser Fläche ausgehenden Lichtstrahlen eine ähnliche Ablenkung erfahren und ein dicht hinter E befindliches Auge die leuchtende Fläche PQ von einer Anzahl von ähnlichen hellen Flächen $P_1 Q_1, P_2 Q_2$ . . . — virtuellen Beugungsbildern von PQ — umgeben erblicken, welche durch dunkle Zwischenräume von einander getrennt erscheinen.

Tritt an die Stelle monochromatischen Lichtes gemischtes, z. B. weisses Licht, so wird der directe Lichtbüschel wieder die Richtung ER einhalten, aber die Beugungsbüschel der rothen Strahlen werden stärker abgelenkt werden als diejenigen der entsprechenden violetten Strahlen, ihre virtuellen Mittelpunkte $P_1' P_2'$ . . . werden somit auf jeder Seite in einer grösseren Entfernung von P auftreten als die der anderen $P_1 P_2$... und es ist einleuchtend, dass, wenn man die zwischen Violett und Roth liegenden Farben in Betracht zieht, die Beugungsbüschel derselben ein zusammenhängendes Spectrum bilden, dessen violettes Ende dem directen Lichtbüschel zunächst, dessen rothes davon am weitesten ab liegt. Wird endlich wieder eine leuchtende Fläche PQ als Lichtquelle angenommen, so werden die directen Büschel der Beugungskegel aller Farben zusammentreffen und ein weisses Bild von PQ erzeugen, dagegen wird jede Gruppe von abgebeugten Strahlen entsprechend der Farbenzerstreuung Spectra hervorbringen, welche je dem virtuellen, durch ein Prisma erzeugten Spectrum einer ausgedehnten hellen Fläche gleichen, aber umgekehrte Farbenordnung besitzen.

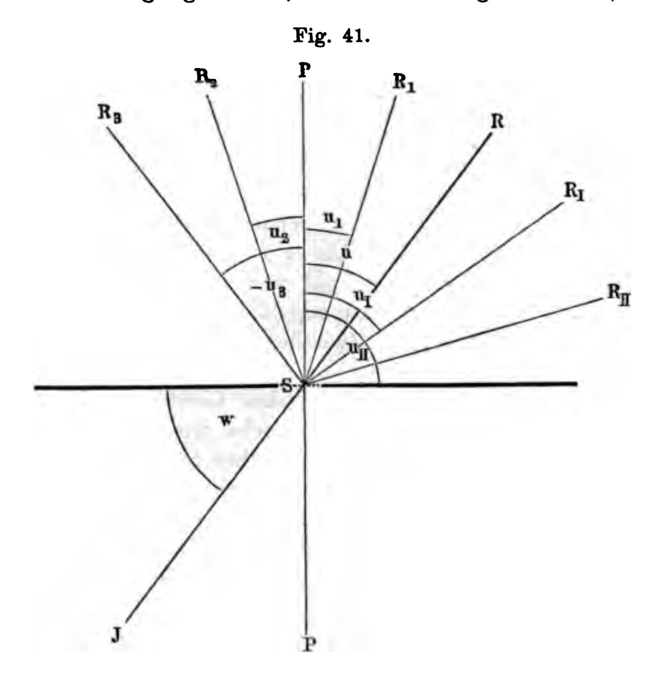
Die eben betrachteten Beugungserscheinungen können an einer Menge von Objecten leicht und unmittelbar beobachtet werden, indem jede regelmässige — oder selbst unregelmässige — Structur von ausreichender Kleinheit ein ihr eigenthümliches — virtuelles — Beugungsspectrum (als solches die Gesammtheit der Einzelspectra zusammen-

gefasst) erzeugt, wenn irgend ein leuchtender Punkt durch dieselbe betrachtet wird und das Auge alle von ihr abgebeugten und ausgehenden Strahlenbüschel aufnimmt.

48 Für die Bestimmung der Beugungswirkung von einfachen Streifensystemen hat Fraunhofer ein höchst einfaches Gesetz aufgestellt.

Dieses lautet: Wird ein Streifensystem S, Fig. 41, von einem senkrecht zur Richtung der Streifen einfallenden Lichtstrahl J getroffen, welcher unter dem Winkel w gegen die Ebene von S geneigt ist, so wird der Fächer der Beugungsbüschel, welche von J abgeleitet sind, durch die

Fig. 41.



Strahlen R_2, R_1, R, R_I, R_{II} ... dargestellt [1]), welche gegen die Senkrechte P unter den Winkeln $u_2 u_1 u, u_I u_{II}$ ... geneigt sind und es haben die Sinus der Winkel, welche zwei auf einander folgende Strahlen mit der Senkrechten P bilden, einen constanten Unterschied, d. h.

$$sin\,u_2 - sin\,u_1 = sin\,u_1 - sin\,u = sin\,u - sin\,u_I \ldots = C$$

[1]) Die Beugungsbüschel sind hier der Einfachheit halber als einfache Strahlen dargestellt. Das richtige Verhältniss würde das in Fig. 40 angewendete sein, da die Beugung sich nie auf einzelne Strahlen, sondern stets auf — auch sehr enge — Strahlenbüschel von endlichem Divergenzwinkel bezieht, welche von einem leuchtenden Punkte ausgehen und einen bestimmten Theil der beugenden Structur durchsetzen.

und der Zahlenwerth dieser Constanten ist immer bestimmt durch die Gleichung:

$$C = \frac{\lambda}{e}$$

worin λ die Wellenlänge einer bestimmten Farbe für ein bestimmtes Medium und e den Abstand zweier Streifen, von deren Mitte aus gemessen, darstellen.

Da nun die Wellenlänge einer bestimmten Farbe für bestimmte Medien im umgekehrten Verhältnisse steht zu dem Brechungsindex dieser Medien, so wird, wenn der Beugungsfächer in einem Medium von dem Brechungsindex $= n$ vorausgesetzt wird und λ allgemein die Wellenlänge in Luft $n = 1$ bedeutet, die zur Wirkung kommende Wellenlänge $[\lambda]$ ausgedrückt werden müssen durch die Gleichung:

$$[\lambda] = \frac{\lambda}{n}$$

und die obige Gleichung wird übergehen in:

$$C = \frac{\lambda}{n \,.\, e}$$

Die Fraunhofer'sche Regel kann nun benutzt werden, um bei solchen regelmässigen Streifungen die unter verschiedenen Bedingungen auftretende Winkelabweichung des ersten Beugungsbüschels von dem directen Lichtbüschel zu bestimmen. Steht der directe Lichtbüschel auf der Ebene des Streifensystemes senkrecht (PP in Fig. 41), so wird der Winkel $u = o$, ferner u_I der Beugungswinkel des ersten Beugungsbüschels auf der rechten, u_1 derjenige des ersten Beugungsbüschels auf der linken Seite des directen Lichtbüschels und beide einander gleich. Die obige Gleichung $\sin u_1 - \sin u = C$ giebt jetzt: $\sin u_1 = C = \frac{\lambda}{n \,.\, e}$.

Fällt der directe Lichtbüschel JR unter irgend einem Winkel schief gegen die Ebene des Streifensystemes ein und wird der erste Beugungsbüschel R_1 nach der entgegengesetzten Seite hin von der Senkrechten unter einem Winkel v abgelenkt, dann erhält man für den Fall, dass die Einfallsneigung von R so geregelt wird, dass die beiden Lichtbüschel R und R_3 der Fig. 41 eine gleiche Winkelabweichung von der Senkrechten erlangen, also $\measuredangle u = \angle v$ wird,

$$\sin v = \sin u = \frac{C}{2} = \frac{\lambda}{2 \,.\, n \,.\, e}$$

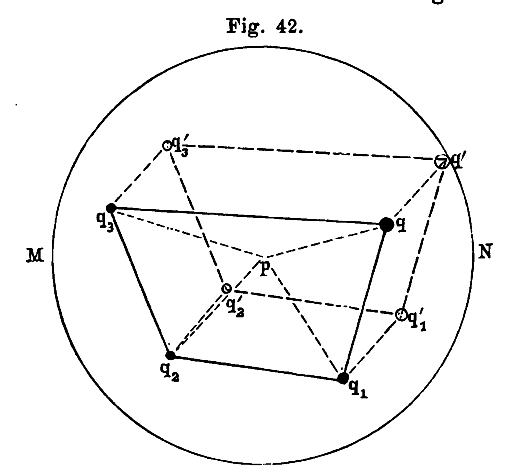
Eine allgemeinere Bestimmung in Bezug auf die räumlichen Verhältnisse der Beugungserscheinungen liefert der von Professor Abbe aufgestellte, den Schlüssel für die Lösung verschiedener Fragen in der Theorie der mikroskopischen Wahrnehmung gewährende, durch einfache geometrische Entwickelung ableitbare Lehrsatz: 49

Wechselnde Einfallsrichtung des directen Lichtkegels, wechselnde Wellenlänge und wechselnde Maassverhält-

nisse der Structur verursachen keinen anderen Wechsel in der Gestaltung der auf die Ebene der Structur projicirten Beugungsfigur, als Vergrösserung oder Verkleinerung der Ausmessungen und parallele Verschiebung der ganzen Figur ohne Drehung.

Stellt z. B. $q\,q_1\,q_2\,q_3$ Fig. 42, das Beugungsspectrum irgend einer Structur vor und es werde die Einfallsrichtung des Beleuchtungskegels geändert, während alle anderen Verhältnisse dieselben bleiben, so rückt der Punkt q, d. h. das Bild der lichtgebenden Fläche nach q' und alle anderen Punkte $q_1\,q_2\,q_3$ werden zufolge des obigen Lehrsatzes um die Entfernung $q\,q'$ in derselben Richtung verschoben, so dass alle Seiten des Trapezes $q'\,q_1'\,q_2'\,q_3'$ denen von $q\,q_1\,q_2\,q_3$ gleich und parallel bleiben.

Fig. 42.



Aendert sich die Wellenlänge in Folge veränderter Farbe oder veränderten Brechungsverhältnisses des Mediums, oder werden gleiche Structuren von verschiedenem Maassverhältnisse beobachtet, so bleibt der Beugungskegel seiner Gestaltung nach der gleiche, aber die Winkelausbreitung desselben wird derart geändert, dass der lineare Abstand irgend zweier Punkte, z. B. q und q' zu der wirksam werdenden Wellenlänge in geradem, zu den Maassverhältnissen der Structur in umgekehrtem Verhältnisse steht.

Auf Grund des angeführten Lehrsatzes können nun die Beugungswirkungen ähnlicher oder gleicher Structuren von verschiedenen Maassverhältnissen, umgeben von verschiedenen Medien, sowie bei Beleuchtung mittelst verschiedener Farben genau mit einander verglichen werden und mögen hier einige daraus abgeleitete Folgerungen Platz finden.

Vor Allem ist einleuchtend, dass Vergrösserung der Maassverhältnisse einer Structur in ihrer Wirkung gleich ist der verhältnissmässigen Verkleinerung der Wellenlänge und umgekehrt, d. h. man behält die gleiche Winkelausbreitung des Beugungskegels, wenn man die Maassverhältnisse einer Structur verkleinert und in demselben Verhältnisse Licht von kleinerer Wellenlänge der wirksamen Strahlen verwendet und umgekehrt.

Hätte man andererseits eine Structur von bestimmtem Maassverhältnisse und es wäre deren Beugungswirkung für dieselbe Farbe aber für verschiedene Medien zu untersuchen, deren Brechungsindices $= n^*$ und n

wären, so ergiebt sich, wenn λ die Wellenlänge der vorausgesetzten Farbe in Luft bezeichnet, die wirksame Wellenlänge in den beiden Medien $= \frac{\lambda}{n^*}$ und $\frac{\lambda}{n}$ und es wird nun, einerlei, ob die Einfallsrichtung in beiden Fällen die gleiche oder eine verschiedene sei, das Beugungsspectrum in dem letzteren Medium in Bezug auf seine Gestaltung das gleiche, wie in dem ersteren, aber in dem Maasse von $n:n^*$ vergrössert sein.

Dieses vergrösserte Beugungsspectrum könnte aber noch in einer anderen Weise erhalten werden, wenn man den durch das Medium n^* hervorgerufenen Beugungskegel mittelst einer ebenen, zu der beugenden Structur parallelen Fläche den Brechungsgesetzen gemäss zu dem Medium n hinüberleitete. Diese Möglichkeit gründet sich darauf, dass die Linien pq, pq_1 die Sinus der Neigungswinkel der abgebeugten Strahlen gegen die Senkrechte vorstellen. Da nun gemäss des Brechungsgesetzes die Sinus der durchfallenden Strahlen in dem Verhältnisse von $n:n^*$ vergrössert werden, so erhält man die Lage der Punkte, welche zu dem durchgeleiteten Beugungskegel gehören und damit ein dem früheren ähnliches, in dem Verhältnisse von $n:n^*$ vergrössertes schematisches Beugungsspectrum, wenn man alle Linien pq, pq_1 ... in diesem Verhältnisse verlängert.

Demgemäss kann das Beugungsspectrum, welches von einer bestimmten Structur durch Lichtstrahlen von bestimmten Farben in einem bestimmten Medium $= n$ erzeugt wird, abgeleitet werden aus dem von derselben Farbe in dem Medium $= n^*$ erzeugten Beugungsspectrum, indem man das letztere nach den Gesetzen der Brechung in das Medium n übertragen denkt.

Dieser Satz, welcher allgemeine Gültigkeit besitzt, bildet die Grundlage für die genaue Bestimmung aller Beugungswirkungen, welche von feinen Structuren abhängig sind.

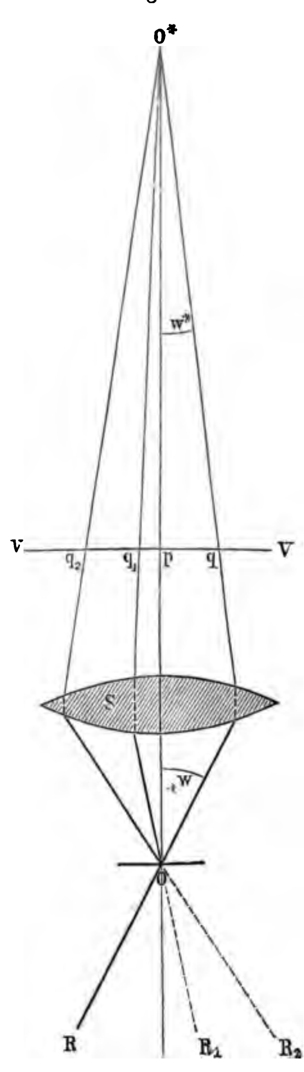
Namentlich geht auch daraus hervor, dass die Winkelausbreitung der Beugungsbüschel in Luft oder schwach brechenden Medien nur dann von der Halbkugel umfasst werden kann, wenn die linearen Entfernungen der die Beugung bewirkenden Structureinzelheiten grosse Vielfache der Wellenlänge des Lichtes betragen, dass also das volle Beugungsspectrum irgend einer Structur, deren Maassverhältnisse auf kleine Vielfache oder gar auf Bruchtheile der Wellenlänge herabgehen, weder in Luft noch in einem der bis jetzt als am stärksten brechend bekannten Medien bestimmt oder beobachtet werden kann. Die Beugungsspectren so feiner Structuren — wie sie z. B. in den Zeichnungen der Diatomeenschalen u. s. w. vorliegen — umfassen in Luft, wie in sehr stark brechenden Medien immer nur einen k l e i n e n, m i t t l e r e n T h e i l der vollen Beugungswirkung. Eine Structur von der Art derjenigen des Pleurosigma angulatum z. B., deren Elemente etwa 0,6 — 0,55 μ von einander entfernt stehen,

ürde, um ihre volle Beugungswirkung zur Anschauung zu bringen, indestens ein Medium von dem Brechungsindex 5,0 bis 6,0 erfordern.

Im Anschluss an die Wirkung aplanatischer Systeme lässt sich aus :m Abbe'schen Lehrsatze noch eine weitere, wichtige Folgerung ab- iten.

Sei O, Fig. 43, eine Structur, welche von dem leuchtenden Punkte ausgehende Strahlen durchlässt, und es stelle RO einen Strahl des durch einen sehr kleinen Flächentheil derselben hindurchgehenden directen Lichtbüschels, R_1, R_2 einzelne Strahlen der Beugungsbüschel vor, welche von dem Punkte O, hier also von dem aplanatischen Brennpunkte des Systemes ausgehen, so werden alle $R, R_1 \ldots$ sich genau in dem zugeordneten Punkte O^* vereinigen.

Fig. 43.



Bilden dann die nach O^* hin convergirenden Strahlen einen nur sehr engen Kegel — wie es bei Mikroskopobjectiven stets der Fall ist — und denken wir uns denselben von einer Ebene V geschnitten, in welcher q als das reelle Bild des leuchtenden Punktes R erscheint, das von den unmittelbar durch O hindurchtretenden Strahlen erzeugt wird, so stellt die Punktgruppe $q, q_1, q_2 \ldots$ in der Ebene V das reelle in einer Ebene liegende Bild des auf Seite 83 besprochenen virtuellen Beugungsspectrums dar, welches die durch die betreffende Structur bedingte sichtbare Zerlegung der Lichtquelle in getrennte, abgebeugte Lichtbüschel bestimmt. Und wenn nun der leuchtende Punkt oder die Ebene, in welcher das virtuelle Beugungsspectrum auftritt, in einer Entfernung von der Objectebene liegt, welche einem ansehnlichen Vielfachen der Brennweite f des Systemes gleich ist, so kommt die Ebene V in oder nahe an die hintere Brennebene zu liegen und es wird die Entfernung der Punkte $q, q_1 q_2 \ldots$ bestimmt durch die mit der auf Seite 56 entwickelten identischen Gleichung:

$$pq = f \,.\, n \quad \sin u$$

und wenn wir Luft als Medium des Objectraumes voraussetzen, also $n = 1$ nehmen:

$$pq = f . \sin u$$

Da die Länge der Linien pq_1, pq_2 ... (Fig. 43), welche dem Sinus der Neigungswinkel der Strahlen innerhalb des nach O^* zielenden Lichtkegels proportional ist, zu derjenigen der Linien pq, pq_1, pq_2 ... des schematischen Spectrums (Fig. 42) im Verhältniss steht, so gelten alle auf dieses letztere bezügliche Sätze ganz allgemein auch für das reelle von einem aplanatischen Systeme irgend welcher Art entworfene Beugungsspectrum. 51

Hierauf gründen sich folgende Schlüsse:

1. Das reelle von einem aplanatischen optischen Systeme in dessen Bildraume entworfene Spectrum einer feinen Structur bleibt, so lange ein enger einfallender Lichtkegel verwendet wird, ungeändert in der Gestaltung und wird parallel verschoben, wenn die Einfallsrichtung geändert wird.

2. Wenn directe Lichtkegel von verschiedenen Farben entweder nach einander oder zugleich in Anwendung kommen, steht die lineare Entfernung irgend zweier Punkte des Spectrums in geradem Verhältnisse zu der Wellenlänge.

3. Wenn zwei Structuren von verschiedener Feinheit durch dasselbe optische System beobachtet werden, dann steht die lineare Entfernung zwischen irgend zwei Punkten des Spectrums in dem umgekehrten Verhältnisse zu den linearen Entfernungen zwischen den einzelnen Structurelementen.

Bei den bisherigen Betrachtungen ist die Lichtquelle als ein leuchtender Punkt vorausgesetzt. Tritt nun an dessen Stelle eine endlich ausgedehnte leuchtende Fläche, so trifft auf jeden einzelnen Punkt einer Beugung bewirkenden Structur ein Lichtkegel von einer gewissen Winkelausbreitung. Die leuchtende Fläche kann dann in eine Anzahl von kleinen Flächenelementen zerlegt, jedes derselben als leuchtender Punkt angesehen werden und die von diesen Punkten ausgehenden einfallenden Lichtkegel, welche alle Strahlen umfassen, die durch den Theil der Structur hindurchgehen, dessen Beugungswirkung beobachtet wird, sind einzeln in Betracht zu ziehen. Ein einzelner Lichtbüschel erzeugt eine zusammenhängende oder getrennte Folge von hellen Punkten $q q_1 q_2$ ... in der von dem Umfange der Austrittspupille des Systemes begrenzten Ebene des reellen Beugungsbildes (Gesammtspectrums). Demgemäss erzeugt jeder andere einfallende Lichtbüschel eine gleiche Beugungsfigur, deren Seiten in Folge der geänderten Einfallsrichtung gegen die der ersteren um eine gewisse Strecke parallel verschoben erscheinen. So werden durch ein und dieselbe Farbe eine Anzahl ähnlicher, parallel verschobener Figuren — die Elementarspectren hervorgebracht. Alle Punkte q, welche zu den directen Büscheln aller einfallenden Strahlen- 52

kegel R, R_1 . . . gehören, vereinigen sich mit einander zu dem Bilde der Lichtquelle, je alle Punkte q_1 und q_2 zusammengenommen erzeugen dagegen ebenso viele abgebeugte Bilder derselben Lichtfläche und alle diese Bilder sind innerhalb des Kreises der Austrittspupille ganz oder zum Theil sichtbar, wenn der einfallende Lichtkegel eine kleine Winkelausbreitung besitzt.

Auf Grund der vorausgehenden Betrachtungen kann nun das reelle Beugungsspectrum, welches von einer regelmässigen Structur durch aplanatische Systeme entworfen wird, genau festgestellt und daraus die durch eine Interferenzwirkung in der Bildebene O^* hervorgerufene Lichtvertheilung bestimmt werden.

3. Die secundäre Abbildung als Wirkung einer Interferrenzerscheinung.

53 Indem wir uns nunmehr der Lösung der auf Seite 80 gestellten Aufgabe zuwenden, soll, um alle praktisch wichtigen Fälle, namentlich auch die bei der mikroskopischen Beobachtung auftretenden, wo das Präparat eine dünne, zwischen zwei Glasplatten eingeschlossene, also in parallenlen Ebenen durch homogene Medien begrenzte Schicht bildet, einzuschliessen, das beugende Object, d. h. die abzubildende Structur als eine zur optischen Achse senkrechte, von parallelen Ebenen begrenzte Schicht von endlicher, aber immerhin sehr geringer Dicke gedacht werden, innerhalb deren sowohl das Brechungsvermögen als die Durchsichtigkeit in beliebiger Abstufung periodischen oder unregelmässigen Wechsel und stetige oder sprungweise Uebergänge zeigt.

Die Lichtbewegung, welche durch die von einem vor einer solchen Schicht liegenden leuchtenden Punkte aus auf deren vordere Grenzfläche treffenden und durch sie hindurchtretenden Lichtstrahlen in irgend einem beliebigen Punkte in dem hinteren Raume hervorgerufen wird, ist bestimmt durch die Interferenz der Elementarwellen, welche von allen Punkten der hinteren (oberen) Grenzfläche aus auf kürzesten Lichtwegen — und zwar in unserem Falle hier durch das Objectivsystem des Mikroskopes hindurch und soweit sie vermöge dessen freier Oeffnung vom Eintritt nicht abgeschnitten erscheinen — zu einem Punkte in dem Bildraume des Linsensystemes hingesandt werden. Die hier auftretende Erscheinung gehört zur Classe der bekannten Fresnel'schen Beugungserscheinungen[1]), und es treten uns in Bezug auf die etwa im

[1]) Nach dem Sprachgebrauche der Physiker bezeichnet man als Fresnel'sche Beugungserscheinung die Lichtvertheilung, welche eine durch eine gegebene beugende Oeffnung (in unserem Falle eine beugende Structur) hindurchstrahlende Lichtquelle in einer beliebig gelegenen Fläche hervorbringt. Eine

Anschluss an sie zu vollziehende unmittelbare Bestimmung der Abbildungserscheinung in der uns zunächst interessirenden Bildebene des Mikroskopobjectives gerade mit Rücksicht auf die für diese Ebene allen übrigen Ebenen gegenüber zu stellenden besonderen Bedingungen — hier nicht näher zu charakterisirende — Schwierigkeiten entgegen, welche indessen leicht umgangen werden können.

Sofern es sich — wie bei der uns hier vorliegenden Aufgabe — nur um die Lichtvertheilung in der einen bestimmten, der Ebene O der beugenden Structur zugeordneten Ebene O^*, Fig. 44 (a. f. S.), handelt, kann deren Bestimmung am einfachsten in folgender Weise, und ohne dass man auf die Beschaffenheit der abzubildenden Structur Rücksicht zu nehmen braucht, durchgeführt werden. Man ermittelt zunächst die Gesammtwirkung der Elementarwellen in der der Lichtquelle P zugeordneten Ebene P^*, d. h. man bestimmt das elementare reelle Beugungsspectrum (Seite 88, Fig. 43) einer gegebenen Objectstructur bei beliebiger Lage des lichtstrahlenden Punktes und in derjenigen besonderen Begrenzung, welche durch die Oeffnung des abbildenden Objectivsystemes bedingt wird. Sodann stellt man die Lichtwirkung dar, welche die sämmtlichen von dieser Ebene aus weiter gehenden Elementarstrahlen in der Ebene O^* hervorrufen, ermittelt also die Interferenzwirkung, welche in dieser Ebene aus dem gegebenen Beugungsspectrum hervorgeht, und das betreffende elementare Bild der Objectstructur darstellt. Endlich stellt man die Regeln fest, nach welchen die Summation der vielen, den einzelnen Punkten und verschiedenfarbigen Strahlen einer beliebig ausgedehnten Lichtquelle entsprechenden elementaren Bilder zu beurtheilen ist.

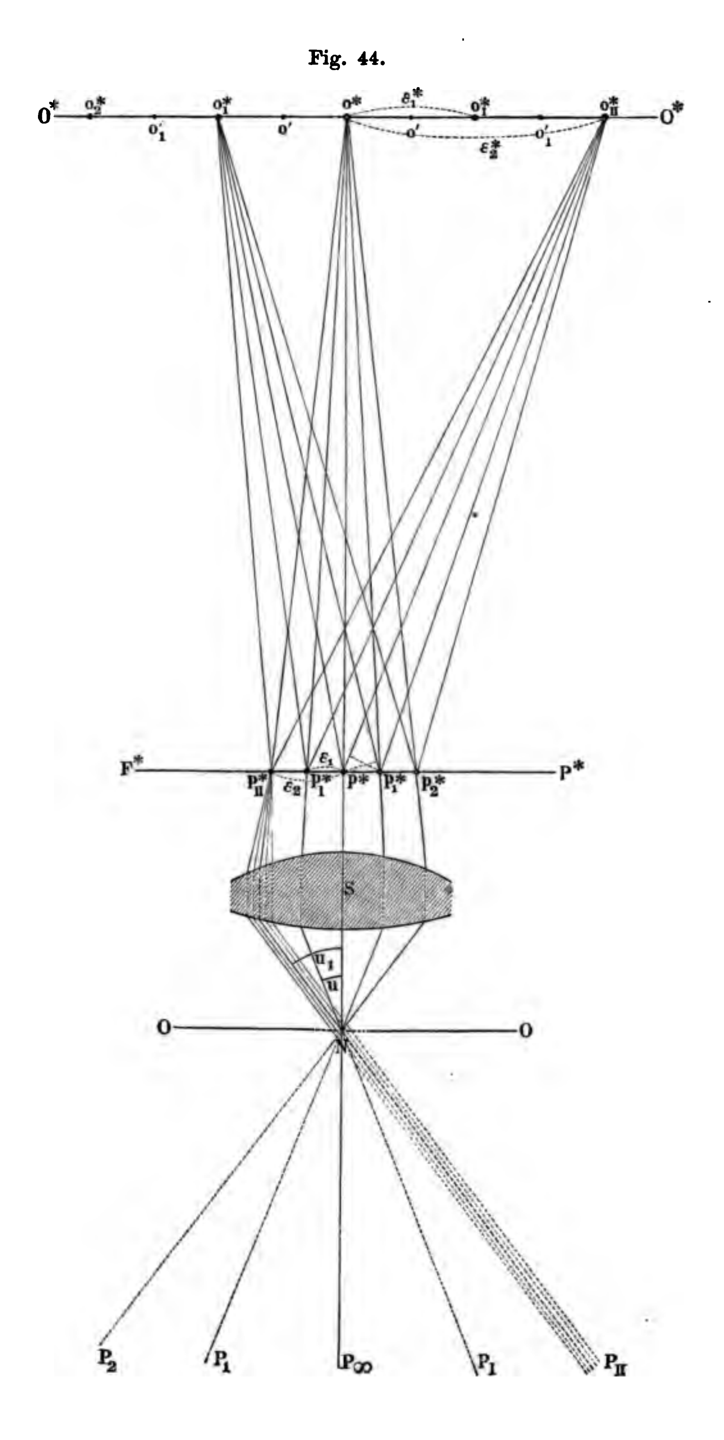
Um dabei von möglichst einfachen Verhältnissen auszugehen, nehmen wir an, die Lichtquelle werde von einem in unendlicher Entfernung auf der Achse gelegenen Punkte gebildet, und die beugende Objectstructur bestehe aus einem einfachen Streifensystem von abwechselnd hellen und dunklen, gleichweit von einander abstehenden Linien.

Stellt nun S, Fig. 44 (a. f. S.), das Objectivsystem eines Mikroskopes vor, so ist zunächst der Ort vollkommen bestimmt, in welchem das der Objectstructur entsprechende reelle Beugungsspectrum erscheint. Dieses letztere ist nämlich, wie wir gesehen haben, nichts Anderes als die Beu-

---

Fraunhofer'sche Beugungswirkung dagegen nennt man jene Lichtwirkung, wenn die betrachtete Fläche entweder die Lichtquelle in sich enthält (wie im Falle des virtuellen Beugungsspectrums, welches das Auge sieht, wenn eine Lichtquelle unmittelbar durch ein beugendes Object hindurch betrachtet wird), oder einer durch die Lichtquelle gehenden Fläche in Bezug auf irgend ein optisches System conjugirt ist (wie im Falle der Projection eines reellen Spectrums durch ein Linsensystem). Als einen besonderen Fall der Fraunhofer'schen Beugungserscheinung stellt sich die Lichtvertheilung dar, welche eine von dem beugenden Objecte unendlich entfernte Lichtquelle in einer gleichfalls unendlich entfernten Ebene ergiebt.

Fig. 44.



O*
o₂*
o₁*
o*
ε₁*
o₁*
o_II*
O*
o'₁
o'
o'
ε₂*
o'₁
F*
P*
P_II*
ε₂
P₁*
P*
P₁*
P₂*
ε₁
S
u₁
u
O
O
N
P₂
P₁
P∞
P_I
P_II

gungsfigur, unter welcher der leuchtende Punkt P — beziehentlich das aus ihm durch die vorausgesetzte Objectstructur entwickelte virtuelle Spectrum — unmittelbar durch das Objectivsystem und zwar entsprechend dessen den Strahleneintritt begrenzender Oeffnung abgebildet wird. Das unmittelbare Bild des Punktes P — beziehentlich des Mittelpunktes des virtuellen Spectrums — ist also derjenige Punkt p^* hinter dem Systeme, welcher demselben dioptrisch zugeordnet ist, zu welchem also von ersterem aus unbestimmt viele kürzeste Lichtwege hinzielen, d. h. der Mittelpunkt des fraglichen Spectrums, wenn als solcher allgemein diejenige Stelle bezeichnet wird, welche bei der unmittelbaren Abbildung das absolute Maximum der Lichtwirkung einnimmt. Durch den Punkt p^* muss diejenige Fläche P^* hindurchgehen, in welchen das reelle Fraunhofer'sche Beugungsspectrum des leuchtenden Punktes P ausgebreitet erscheint, und wir sehen dieselbe vorerst als eine Ebene an, obwohl sie dieses bei Objectivsystemen mit grosser Oeffnung im Allgemeinen nicht ist.

Unter der oben gemachten Voraussetzung fällt die Ebene P^* mit der hinteren Brennebene F^* des Objectivsystemes zusammen und es müssen, wenn N das beugende Streifensystem mit dem Intervall $= e$ in der Objectebene O vorstellt, sämmtliche an den einzelnen Objectpunkten abgebeugte Lichtbüschel gemäss der früheren Darlegungen in der Ebene P^* resp. F^* durch ihre Lichtwirkung ein lineares Spectrum erzeugen. Da nun die Ebene des Fächers der Beugungsbüschel immer durch die Achse des Objectsystemes geht, und da gleichen Unterschieden der Sinus der Neigungswinkel auf einander folgender Beugungsbüschel gemäss des Satzes über den Aplanatismus gleiche Unterschiede in den linearen Abständen zweier auf einander folgender Punkte $p^* p_1^* \ldots$ von der Achse entsprechen müssen, so besteht dieses Gesammtspectrum aus einer in ihrer Richtungslinie senkrecht auf der Streifenrichtung stehenden Reihe, in Gestalt von farbigen Einzelspectren auftretender Fraunhofer'scher Maxima zweiter Ordnung, welche symmetrisch zu beiden Seiten des absoluten Maximums, d. h. des directen Bildes der Lichtquelle gelegen erscheinen. Veränderung in der Richtung des einfallenden Lichtbüschels oder in der Wellenlänge rufen erstere nur parallele Verschiebung, letztere entsprechende Veränderung in dem linearen Abstande der Einzelspectren hervor, welche hier zunächst keiner weiteren Berücksichtigung bedürfen.

Bezeichnen wir jetzt, um die räumlichen Verhältnisse des reellen Spectrums, d. h. die Oerter der Einzelspectren, welche für die von ihnen ausgehende Interferenzwirkung von Bedeutung werden, festzustellen, die Ablenkungswinkel der Hauptstrahlen aller von je einem Punkte der Structur abgebeugten Lichtbüschel mit $u_1 u_2 \ldots$, die Abstände der von der Mitte aus auf einander folgenden Maxima zweiter Ordnung (Spectra) mit $\varepsilon_1 \varepsilon_2 \ldots$, so ist im Anschluss an das Fraunhofer'sche Gesetz (Seite 84) und wenn wir Luft als Medium in Object- und Bildraum an-

nehmen, allgemein der (gleiche) Abstand der einzelnen Maxima zweiter Ordnung von einander bestimmt durch die Gleichung:

$$\varepsilon = f \cdot \frac{\lambda}{e}$$

Welche Ausdehnung das so bestimmte Beugungsspectrum innerhalb der Ebenen P^* (F^*) erlange, hängt, wie aus Früherem hervorgeht, von der Oeffnung des optischen Systemes ab, und als einfachster Fall erscheint in dieser Beziehung derjenige, wobei — obwohl in der Wirklichkeit die Verhältnisse nur selten dieser Annahme entsprechen — die letztere mit der Ebene des ersteren zusammenfällt. Die Begrenzung des Spectrums ergiebt sich nämlich auf diese Annahme hin unmittelbar dadurch, dass der Rand der Iris von einer bestimmten Stelle an plötzlich alle Elementarstrahlen abschneidet, welche zu der Ebene P^* hinführen könnten.

54 Von der innerhalb der Ebene P^* festgestellten Lichtvertheilung, d. h. von dem reellen Beugungsspectrum aus ergiebt sich diejenige in der Ebene O^*, also das gesuchte Bild, wenn man die Elementarwellen von sämmtlichen Punkten p^* der ersteren zu jedem Punkte o^* der letzteren verfolgt und die kürzesten optischen Lichtwege bei diesem Uebergange in Anschlag bringt. Hierdurch und unter Berücksichtigung der Schwingungsweite und des Schwingungszustandes (Phase), welche an jeder Stelle p^* bestehen, ergiebt sich die Schwingungsweite und damit die Lichtstärke für jeden Punkt der Bildebene und es muss die von der Lichtvertheilung in der Ebene P^*, also von dem reellen Beugungsspectrum auf die Ebene O^* ausgeübte Interferenzwirkung als das Bild des in der ihr zugeordneten Ebene O befindlichen Objectes betrachtet werden.

Um nun für den vorliegenden Fall diese Interferenzwirkung zu bestimmen, nehmen wir — wie es bei dem Mikroskope ja thatsächlich der Fall ist — die Bildebene O^* in einer so grossen Entfernung x^* von der hinteren Brennebene F^* des Objectivsystemes an, dass dieselbe ein sehr grosses Vielfaches von dem Durchmesser des Beugungsspectrums beträgt und alle von den einzelnen Punkten dieses letzteren nach einem Punkte der Bildebene hinzielenden Elementarstrahlen als parallel angesehen werden können. Daraus ergiebt sich aber, da alle von den einzelnen Punkten des Beugungsspectrums ausfahrenden Elementarstrahlen — als von einem leuchtenden Punkte abgeleitete — cohärente, also interferenzfähige sind, dass in allen den Punkten $o^*\, o_1^*\, o_{\mathrm{I}}^*$ . . . der Bildebene, für welche der Gangunterschied der Wellenlänge λ selbst, oder einem Vielfachen derselben gleich ist, die Lichtwirkung ein Maximum hervorrufen muss, während für alle jene Punkte $o'_1\, o'_2\, o'_{\mathrm{I}}$ . . ., in denen der Gangunterschied der halben, oder einem ungeraden Vielfachen der halben Wellenlänge gleich wird, eine vollständige Vernichtung der Lichtwirkung eintreten wird. Alle zwischen den Maxima und Minima liegenden Punkte werden dann eine von den ersteren nach den letzteren hin mehr oder

minder rasch abfallende Lichtstärke zeigen. Es entsteht sonach in der Bildebene O^* als Folge der Interferenzwirkung des Beugungsspectrums eine Lichtvertheilung, welche durch abwechselnd helle und dunkle Streifen gekennzeichnet ist und es lässt sich durch eine einfache mathematische Entwickelung nachweisen, dass der (wiederum gleiche) Abstand dieser Streifen allgemein gegeben erscheint in der Formel:

$$\varepsilon^* = \frac{x^*}{f \cdot \frac{\lambda}{e}} = \frac{x^*}{f} \cdot e$$

und da $\frac{x^*}{f}$ die lineare Vergrösserung im Uebergange von der Ebene O zur Ebene O^*, also vom Objecte zum Bilde darstellt,

$$\varepsilon^* = N \cdot e$$

woraus hervorgeht, dass ε^*, da λ ausfällt, von den Wellenlängen und damit von den wirksam werdenden Einzelfarben vollständig unabhängig wird.

In dem vorliegenden Falle stellt sich sonach das reelle Bild des Objectes, welches durch die Ocularwirkung nur noch auf den erforderlichen Sehwinkel ausgebreitet wird, dar, als ein gegen das Object um Nmal vergrössertes Streifensystem mit gleichen Abständen der einzelnen Streifen.

Würden bei der Bestimmung der Lichtvertheilung in der Bildebene unter Beibehaltung der vorausgesetzten beugenden Structur rechts und links von dem absoluten Maximum p^*, also von dem Mittelpunkte des reellen Beugungsspectrums, nicht die unmittelbar auf dasselbe folgenden Einzelspectren in Betracht gezogen, sondern je eines oder je zwei . . . übersprungen worden sein, so wäre das gesuchte Bild zwar nach Form und Abstufung der Lichtwirkung im Allgemeinen dasselbe geblieben wie vorher, es müsste sich aber der beziehungsweise Abstand der Maxima und Minima geändert haben. In welchem Maasse dies geschehen, geht aber unmittelbar aus dem Obigen hervor. Die Gleichung $\varepsilon = f \cdot \frac{\lambda}{e}$ würde nämlich übergegangen sein in die Gleichungen: 55

$$\varepsilon = 2 \cdot f \cdot \frac{\lambda}{e}; \ \varepsilon = 3 \cdot f \cdot \frac{\lambda}{e} \dots\dots$$

und demzufolge die Endgleichung $\varepsilon^* = N \cdot e$ in

$$\varepsilon^* = N \cdot \frac{e}{2}; \ \varepsilon^* = N \cdot \frac{e}{3} \dots\dots$$

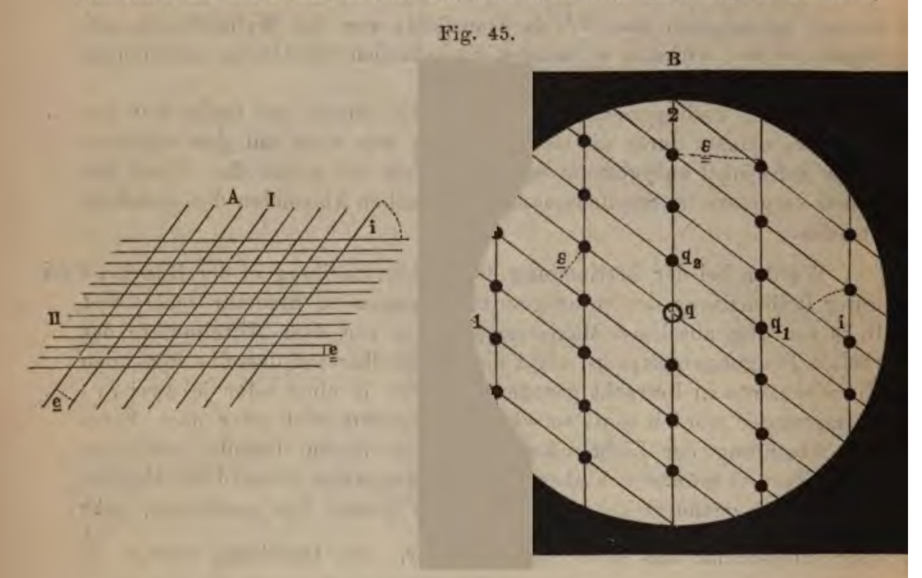
Die ursprüngliche Streifung des Objectes würde sich also unter den jetzt angenommenen Verhältnissen und gemäss der aus den voranstehenden Gleichungen leicht abzuleitenden Ausdrücken

$$\frac{e}{2} = \frac{\varepsilon^*}{N}; \ \frac{e}{3} = \frac{\varepsilon^*}{N} \dots\dots$$

als eine solche von doppelter, dreifacher . . . Feinheit, jedoch von gleicher Markirtheit und Schärfe der Zeichnung wie im ersten Falle dargestellt haben.

56 Das elementare, d. h. das von einem leuchtenden Punkte erzeugte Beugungsspectrum einer aus zwei sich kreuzenden regelmässigen (periodischen) Streifensystemen, oder in solche sich ordnenden Structurelementen (Punkten) bestehenden Structur kann in ähnlicher Weise ermittelt werden, wie das eines einfachen Streifensystemes. Seien z. B. I und II (Fig. 45 A) solche Streifensysteme, der Streifenabstand in I $= \underline{e}$, der in II $= \underline{\underline{e}}$ und wird angenommen, dass sich dieselben unter einem Winkel i schneiden, so bildet das Beugungsbild eine in Form von Parallelogrammen um den Punkt q geordnete Gruppe von Einzelspectren $q_1\, q_2$ . . . . (Fig. 45 B). Die Zahl der letzteren, soweit sie eine merkliche Lichtstärke besitzen,

Fig. 45.



sowie die verhältnissmässige Lichtstärke unter ihnen kann dabei grosse Verschiedenheiten erkennen lassen, da diese Umstände von Art und Form der Structurelemente abhängen. Es erscheinen jedoch immer die Einzelspectren nach zwei Richtungen 1 und 2 hin in gleichweit von einander abstehende Reihen geordnet, welche beziehentlich auf den Richtungen der Streifensysteme I und II senkrecht stehen und sich gleichfalls unter dem Winkel i schneiden.

Die Abstände $\underline{\varepsilon}$ und $\underline{\underline{\varepsilon}}$ je zwei auf einander folgender Einzelspectren werden dabei durch die Gleichungen $\underline{\varepsilon} = f \cdot \frac{\lambda}{\underline{e}}$ und $\underline{\underline{\varepsilon}} = f\, \frac{\lambda}{\underline{\underline{e}}}$ bestimmt.

In ähnlicher Weise liesse sich das Beugungsbild von drei und mehr

sich schneidenden regelmässigen Streifensystemen oder Punktreihen und dergleichen ermitteln.

Die Interferenzwirkungen, welche von diesen zusammengesetzten Beugungsfiguren in der Bildebene hervorgerufen werden, machen jedoch schon verwickeltere Verhältnisse zu Tage treten, welche sich nicht in elementarer Weise darstellen lassen.

57 In der voranstehenden Darlegung haben wir nur die von nur einem leuchtenden Punkte erzeugte Beugungswirkung einer Objectstructur zu Grunde gelegt. Tritt an die Stelle eines leuchtenden Punktes, welcher Licht von einer bestimmten Farbe ausstrahlt, eine beliebig ausgedehnte Fläche, welche z. B. in weissem Lichte leuchtet, so wiederholt sich die für ein elementares Bild durchgeführte Betrachtung für jeden einzelnen Punkt der leuchtenden Fläche, wie für jede in seinem Lichte vertretene einzelne Farbe. In der Ebene P^* treten dann zunächst in jedem Einzelspectrum p^*, p_1^* unbestimmt viele elementare Beugungsspectren auf, von denen jedes einzelne im Allgemeinen in Bezug auf die ihm eigene Lichtvertheilung, die Lage seines Mittelpunktes innerhalb der freien Oeffnung, sowie auf seine durch die letztere bedingte Begrenzung von jedem anderen verschieden wird, so dass in der Ebene O^* unbestimmt viele in Lichtabstufung und Farbe verschiedene Einzelbilder desselben Objectes zugleich entworfen werden. Wie aus dem Früheren hervorgeht, sind aber die Schwingungen, welche von verschiedenen leuchtenden Punkten der Lichtquelle aus erregt werden, von einander völlig unabhängige, nicht interferenzfähige und das ganze Beugungsspectrum, welches von der Objectstructur in der Ebene P^* erzeugt wird, bildet daher eine blosse Uebereinanderlagerung der sämmtlichen Einzelspectren. Das schliessliche, durch eine entsprechende Oeffnung in der Objectebene, oder, wie es bei der gewöhnlichen mikroskopischen Beobachtung ganz oder theilweise durchsichtiger Objecte in der Regel der Fall ist, durch eine (dem Ocular angehörige) Blendung in der Bildebene bestimmt begrenzte Bild in der Ebene O^* kann daher auch nur eine Summe (keine Resultante) aus den sämmtlichen Einzelbildern sein und die Lichtwirkung an jeder einzelnen Stelle ermittelt sich aus der Addition derjenigen Lichtstärken, welche die Einzelbilder an dieser Stelle erzeugen.

58 Erscheint das Spectrum, welches eine Objectstructur erzeugt, soweit es in die freie Oeffnung fällt, auf eine einzige helle Stelle ohne merkliche Ausdehnung, d. h. auf das scharfe Bild der Lichtquelle beschränkt, wie es z. B. bei periodisch gegliederten Objecten geschieht, wenn dieselben so bedeutende Ablenkungen herbeiführen, dass nur der ungebeugte Lichtbüschel in das Objectivsystem eintreten kann, so kann kein Bild entstehen, und die Lichtwirkung innerhalb der Bildebene ergiebt nur eine gleichförmige Beleuchtung der ganzen Fläche. Aehnliches findet statt, wenn nur ein abgebeugter Büschel, ohne gleich-

zeitigen Zutritt des directen (ungebeugten) Büschels von der freien Oeffnung des Objectivsystemes aufgenommen wird, wie es geschieht, wenn z. B. ein gestreiftes Object, dessen Streifenabstand für ein bestimmtes Objectiv an der Grenze der Sichtbarkeit liegt, durch dieses Objectiv beobachtet wird, während die Neigung des einfallenden Lichtkegels gegen die Achse des Mikroskopes grösser als der halbe Oeffnungswinkel ist. Das freie Sehfeld bleibt alsdann vollkommen dunkel; die Structur enthaltenden Theile aber werden auf dunklem Grunde sichtbar vermöge der abgebeugten Strahlen, welche in die Oeffnung eintreten. Unter obiger Voraussetzung jedoch wird die Structur nicht selbst abgebildet; man sieht vielmehr wiederum nur eine gleichförmig beleuchtete Bildfläche in den Umrissen der betreffenden Objecte.

59 Die Resultate der voranstehenden Betrachtungen ergeben nun zunächst in Bezug auf die Gestaltung der von periodisch gegliederten Structuren erzeugten Beugungsfigur folgende Sätze:

Erstens. Der lineare Abstand der Fraunhofer'schen Maxima des Beugungsspectrums — der Einzelspectren — steht in umgekehrtem Verhältnisse zu dem linearen Abstande der beugenden Elemente einer Structur.

Zweitens. Die Anordnung der Einzelspectren — Fraunhofer'sche Maxima — ist eine der Anordnung der beugenden Structurelemente entsprechende. In gleichlaufenden Reihen geordnete Elemente ergeben in ihrer Verbindungslinie auf dieser senkrecht stehende Reihenspectren, während in unter irgend welchem Winkel sich kreuzende, unter sich parallele Reihen geordnete Structurelemente in entsprechender Weise angeordnete Gruppirung der Elementarspectren hervorrufen.

Ferner lassen sich aus denselben nun ohne Weiteres folgende allgemeine Schlussfolgerungen über die mikroskopische Bilderzeugung ableiten:

1. Das mikroskopische Bild jeder Objectstructur ist durch das von dem Objectivsystem in der der Lichtquelle zugeordneten Ebene entworfene Beugungsspectrum vollständig bestimmt und zwar das einem leuchtenden Punkte zugehörige Einzelbild durch das Elementarspectrum, das mittelst einer beliebig ausgedehnten und in gemischten Farben leuchtenden Lichtquelle erzeugte Gesammtbild durch das Gesammtspectrum.

2. Gleichen Beugungsspectren innerhalb der freien Oeffnung des Systemes müssen stets gleiche Bilder, ungleichen Beugungsspectren aber stets ungleiche Bilder entsprechen, und wenn irgend einmal ganz verschiedene Structuren in

die freie Oeffnung des Objectivsystemes fallende übereinstimmende Spectren ergeben, so müssen ihre Bilder gleich werden, während wenn bei vollkommen gleichen Structuren die in die freie Oeffnung des Objectivsystemes fallenden Beugungsspectren ungleich werden, die Bilder jener ebenfalls ungleich ausfallen.

3. Damit in der Bildfläche irgend ein Anzeichen der vorhandenen Objectstructur erscheinen könne, müssen, sofern diese isolirte Beugungsbüschel liefert, **mindestens zwei** von diesen in die freie Oeffnung des Objectivsystemes eintreten können, sei es auch von nur **einem** Punkte der lichtgebenden Fläche.

Die unter 2. erwähnte Uebereinstimmung und Verschiedenheit der Beugungsspectren bei beziehentlich ungleichen oder gleichen Objectstructuren, kann auf die mannigfachste Weise zu Stande kommen, weil es dabei nur auf die Begrenzung der ganzen Spectren durch die Objectivöffnung ankommt. Die volle Beugungswirkung verschiedener Structuren ist selbstverständlich immer verschieden; dagegen kann zwischen einzelnen Theilen der Spectra vollständige Uebereinstimmung bestehen. Kommen nun die übereinstimmenden Theile allein zur Wirkung, während die ungleichartigen Theile ausserhalb der freien Objectivöffnung verbleiben, so ist die Uebereinstimmung der wirksam werdenden Spectren verschiedener Structuren hergestellt. Die Ungleichheit des wirksamen Spectrums von gleichen oder von ein und demselben Objecte kann sowohl in Folge verschiedener Lage der Lichtquelle (centrale und schiefe Beleuchtung etc.), als verschiedener Grösse und Gestalt der freien Oeffnung, als auch in Folge beider dieser Umstände herbeigeführt werden.

Alle diese Bedingungen kommen bei dem Gebrauche des Mikroskopes in zahlreichem Maasse zur Geltung und die hier gezogenen Folgerungen greifen unmittelbar in denselben ein. Sie stellen als allgemeine Richtschnur den Satz hin:

Es besteht kein unabänderlicher und unbedingter Zusammenhang zwischen dem sichtbaren Bilde des Objectes und seiner wirklichen Beschaffenheit. Ein solcher Zusammenhang besteht vielmehr nur zwischen dem Bilde und dem ihm zu Grunde liegenden Beugungsspectrum. Daher kann aus dem sichtbaren Bilde mit Sicherheit auf nichts Anderes geschlossen werden, als auf das Vorhandensein solcher Structurverhältnisse, wie sie zur Entstehung dieses Beugungsspectrums nothwendig und zureichend sind.

In dem Vorausgehenden ist zugleich in allgemeinen Umrissen die Function der Oeffnung oder des Oeffnungswinkels bei der mikroskopischen Abbildung bestimmt, indem in diesem Elemente des Objectiv- 60

systemes derjenige Factor erkannt wird, welcher das Beugungsspectrum der Objectstructur in dem für die Bilderzeugung wirksamen Theile nach Ausdehnung und Begrenzung in der Art regelt, dass dieselbe durch diejenigen Punkte des Beugungsspectrums gegeben ist, für welche der Beugungswinkel dem halben Oeffnungswinkel gleich wird.

Ferner gewährt Satz 3. in Verbindung mit den auf Seite 95 u. 98 gegebenen Formeln das Mittel, um die kleinste lineare Entfernung zwischen den sich regelmässig wiederholenden Elementen einer periodisch gegliederten Structur festzustellen, welche bei bestimmter Einfallsrichtung der beleuchtenden Strahlen durch einen bestimmten Oeffnungswinkel noch abgebildet werden können und es ergiebt sich darin die Grundlage für die später zu behandelnde Ermittelung der Grenze des Unterscheidungsvermögens der Objectivsysteme.

61 Zur endlichen Feststellung des Verhältnisses zwischen dem mikroskopischen Bilde einer Objectstructur, wie dasselbe durch die betrachteten Vorgänge der Beugung und der Interferenz entsteht, einerseits, und der wirklichen Beschaffenheit jener Objectstructur andererseits, und im Besondern zur Ermittelung des Grades der Uebereinstimmung zwischen der Gestaltung von Bild und Object führen uns folgende aus den vorausgehenden Thatsachen abgeleiteten Sätze.

Erstens hängt die in Frage kommende Interferenzwirkung ihrer Lichtvertheilung nach einzig von Gestaltung und Begrenzung des wirksamen Theiles der Beugungsfigur ab, von denen die erstere an die Gliederung und Maassverhältnisse der beugenden Objectstructur geknüpft ist, die letztere durch den Oeffnungswinkel des optischen Systemes bemessen werden kann.

Zweitens geht aus den Betrachtungen über die Fraunhofer'schen Beugungserscheinungen hervor, dass für ein dicht hinter der Objectstructur befindliches Auge (oder Fernrohr) diese ein in deutlicher Sehweite (beziehentlich in unendlicher Entfernung) gelegenes virtuelles, der Beobachtung thatsächlich zugängliches Beugungsspectrum erzeugt, welches als ein von dem Objectivsystem entworfenes dioptrisches Bild des reellen Spectrums in der Ebene P^* (F^*) — und umgekehrt — betrachtet werden kann, dessen wirksamer Theil durch die, nach dioptrischen Regeln rückwärts in die mit der Fläche der Lichtquelle zusammenfallenden Fläche projicirte Austrittspupille des Objectivsystemes als in gleicher Weise (durch den halben Oeffnungswinkel) bestimmt wird, wie derjenige der reellen Beugungsfigur.

Es erscheint nun (wie auch umgekehrt) jeder Punkt des virtuellen Beugungsspectrums nach Lichtstärke und Schwingungszustand als bestimmt durch den dioptrisch zugeordneten (conjugirten) Punkt des reellen Spectrums, und die Begrenzung des ersteren als bestimmt durch die Begrenzung des letzteren. Daraus folgt aber, dass alle Licht-

wirkungen, welche in dem Vorausgehenden — im Allgemeinen sowie in besonderer Durchführung für einige einfache Structuren — aus dem reellen Beugungsspectrum einer Structur abgeleitet wurden, ebenso gut auch aus dem virtuellen Spectrum abgeleitet werden können.

Diese Thatsachen führen nun zu einer besonders einfachen Bestimmung der secundären Abbildung, indem daraus an der Hand einer einfachen Betrachtung der Satz abgeleitet werden kann:

Die Lichtvertheilung, welche die Interferenz des **reellen** Beugungsspectrums in der **Bildebene** (O^*) hervorbringt, d. h. das Bild des Objectes ist in jeder Beziehung ein einfaches dioptrisches Bild derjenigen Lichtvertheilung, welche die Interferenz aus dem wirksamen Theile des **virtuellen** Spectrums der Objectstructur in der **Ebene des Objectes** (O) erzeugen würde.

Nur die schliessliche Lichtstärke an entsprechenden Stellen beider Ebenen kann nicht die gleiche sein, sie muss vielmehr im umgekehrten Verhältnisse stehen zu den Flächenräumen, über welche sich die von dem virtuellen Spectrum aus erregte Bewegung ausbreitet, muss also umgekehrt proportional sein dem Quadrate der Vergrösserung des Objectivsystemes im Uebergange von der Objectebene zur Bildebene.

Durch diese Bestimmungsweise des Abbildungsvorganges aus dem (physisch verwirklicht gedachten) virtuellen Beugungsspectrum, bei der die an dieses letztere geknüpfte, durch Interferenzwirkung hervorgerufene Lichtvertheilung in der Objectebene an die Stelle des wirklichen Objectes tritt, wird der Zusammenhang zwischen Object und Bild auf einen einfachen und scharf umschriebenen Begriff gebracht, und es gewinnen jetzt alle auf denselben bezüglichen Fragen einen bestimmten Sinn. Inwieweit das von dem Mikroskop von einem gegebenen Object entworfene Bild diesem ähnlich ist, wird allein dadurch bedingt sein, dass der wirksame Theil des virtuellen Spectrums durch seine Interferenzwirkung eine Lichtvertheilung in der Objectfläche hervorbringt, welche der Lichtvertheilung im Objecte selbst völlig oder mehr oder minder ähnlich erscheint. Wird diese letztere durch jene Interferenzwirkung genau wiedergegeben, so werden Bild und Object in Form und innerer Gliederung übereinstimmen, während alle Umgestaltungen der Interferenzwirkung, welche eine verschiedenartige innere Gliederung und Begrenzung des wirksamen Spectrums hervorruft, ebenso viele Umgestaltungen des Bildes im Gefolge haben müssen, deren Gesetzmässigkeit zu erforschen auf die Untersuchung des Verhältnisses zurückgeführt ist, welches zwischen einem in gewisser Art begrenzten Beugungsspectrum und seiner Interferenzwirkung auf die Ebene besteht, in welcher das beugende Object sich befindet.

Die wirkliche Bestimmung des mikroskopischen Bildes auf Grund der zuletzt entwickelten Sätze ist nun die Sache der analytischen Ent- 62

wickelung, die wir hier natürlich nicht verfolgen, sondern von der wir nur die allgemeinen Resultate anführen können.

Diese ergeben folgende wichtige Sätze:

1. Bei irgend welcher Begrenzung des Lichteintritts in Bezug auf das gebeugte Licht, sei es durch die natürliche Oeffnung des Objectivsystemes, sei es durch irgend welche künstlich angebrachte Blendungsöffnungen, zeigt das Mikroskop stets das genaue (vergrösserte) Abbild desjenigen Objectes, welches den zum Objectivsystem zugelassenen Theil des wirklich erzeugten Beugungsspectrums der beobachteten Structur als vollständiges Beugungsspectrum liefern würde.

2. Da es nicht zwei verschiedene Objectstructuren geben kann, welche ein- und dasselbe vollständige Beugungsspectrum liefern, so ist das mikroskopische Bild dem Objecte immer vollkommen ähnlich, d. h. es ist ein genaues, vergrössertes Abbild desselben, wenn das vollständige Beugungsspectrum in der Austrittspupille des Objectivsystemes auftritt, wenn also kein abgebeugtes Licht von merklicher Lichtstärke verloren geht.

3. Das Bild ist dem Objecte selbst nur dann vollkommen ähnlich, wenn die letztere Voraussetzung erfüllt ist, indem im anderen Falle das Mikroskop das Abbild einer Structur zeigt, deren vollständiges Beugungsspectrum verschieden ist von dem vollständigen Spectrum des der Beobachtung unterliegenden Objectes.

4. Ein je grösserer Theil von dem Beugungsspectrum einer zu beobachtenden Objectstructur dem Mikroskop verloren geht, desto unähnlicher wird das sichtbare Bild dem wirklichen Objecte werden. Denn je mehr verloren geht, desto weiter entfernt sich dasjenige Spectrum, welches der Beugungswirkung der sichtbaren Structur entspricht, von dem der wirklichen Structur angehörigen Spectrum — und je verschiedener zwei Beugungsspectren sind, desto verschiedener müssen die Structuren sein, welche dieselben hervorbringen.

Der Grad der Aehnlichkeit oder Unähnlichkeit zwischen den unvollständigen, d. h. durch unvollständige Beugungsspectren vermittelten Bildern und den Objecten, von welchen sie herrühren, lässt sich nicht allgemein näher bezeichnen; man muss sich vielmehr darauf beschränken, das Verhalten in einer Anzahl besonderer Fälle darzulegen, wie es zum Theile in den nachfolgenden Versuchen, zum Theile in dem dritten Abschnitte geschehen soll.

63 Die obigen Sätze lehren, dass irgend eine bestimmte numerische Apertur (oder ein bestimmter Oeffnungswinkel) eines Objectivsystemes

nur bis zu einer gewissen Grenze der Kleinheit der Objecte herab eine vollständige, d. h. dem Objecte ähnliche Abbildung gestattet, sowie dass auch für die grössten bei dem Mikroskope noch herstellbaren Werthe der numerischen Apertur bei einer gewissen Grenze der Kleinheit die Möglichkeit vollständiger, dem Objecte genau ähnlicher Abbildung aufhören muss. Denn wie aus Früherem hervorgeht, wird — ein und dasselbe Medium und ein und dieselbe Lichtart vorausgesetzt — die Winkelausbreitung des gebeugten Lichtes immer grösser, je kleiner bei sonst gleicher Beschaffenheit die linearen Ausmaasse der Structurelemente werden. Bei Elementen, deren Ausmaasse beträchtliche Vielfache der in dem betreffenden Mittel wirksamen Wellenlänge ausmachen, ist das gesammte gebeugte Licht bis zu der Grenze verschwindender Lichtstärke in einem kleinen oder mässigen Winkelraum um die Richtung des einfallenden Lichtkegels herum enthalten, kann also von einem Objectivsysteme mit kleiner oder mässiger numerischer Apertur aufgenommen werden und das Bild ist in diesem Falle in Hinsicht auf die Lichtvertheilung in der Objectstructur ein getreues Abbild dieser letzteren. Denkt man sich aber ein ganz ähnliches Object mit viel kleineren Ausmessungen, so vergrössern sich die Sinus der Ablenkungswinkel der entsprechenden Beugungsbüschel — wie es für den Fall einer einfachen Streifung in den auf Seite 95 u. f. aufgestellten Formeln zum Ausdruck kommt — genau in dem umgekehrten Verhältnisse der Ausmessungen. Sinken letztere auf sehr kleine Vielfache oder gar auf Bruchtheile der Wellenlänge herab, so reicht in einem weniger dichten Medium, z. B. Luft, Wasser u. dergl., der ganze Winkelraum von 180° nicht mehr aus, um das vollständige Beugungsspectrum der Structur zur Entwickelung zu bringen und es muss sohin auch die möglichst grösste Oeffnung unzureichend werden, das ganze der Structur eigenthümliche Beugungsspectrum aufzunehmen. Das Bild wird in diesem Falle bei jedem Objectivsysteme unvollständig bleiben und nur diejenigen Merkmale der Structur zum Ausdruck bringen, welche mit dem mittleren Theile des Beugungsspectrums verknüpft sind.

Wird eine beliebige Objectstructur aus gröberen, in ihren Ausmaassen grosse Vielfache der Wellenlänge erreichenden, und feineren, in ihren Ausmaassen nur geringen Vielfachen oder Bruchtheilen der Wellenlänge gleichkommenden Elementen gebildet, so erzeugen die ersteren einen Beugungskegel, welcher — soweit abgebeugtes Licht von merklicher Lichtstärke in Betracht kommt — schon von Objectivsystemen mit kleiner oder mässiger numerischer Apertur aufgenommen werden kann, während von dem durch die letzteren erzeugten Beugungskegel selbst bei Objectivsystemen mit grösserer numerischer Apertur ausser dem directen Lichtbüschel entweder gar keine abgebeugten Lichtbüschel oder nur die zunächst um jenes herumgelegenen — also der mittlere Theil der Beugungsfigur — Zutritt in die Oeffnung erlangen. Unter diesen Umständen liefert das Mikroskop nur von den gröberen Theilen des Objectes

ein getreues vergrössertes Abbild, während in dem einen Falle von den feineren Structureinzelheiten in dem Bilde nichts enthalten ist, im anderen darin aber nur die Anzeichen einer dem unvollständigen Beugungsspectrum entsprechenden Structur erscheinen.

64 Die hier im Umrisse dargestellte Theorie der mikroskopischen Bilderzeugung ist ganz allgemein und für jede Art von Structuren gültig, umfasst also das ganze Gebiet der der mikroskopischen Beobachtung unterworfenen Objecte. Diese werden uns — mögen sie nun eine zusammengesetztere regelmässige oder unregelmässige Structur besitzen oder aus einzelnen Elementen bestehen — stets nur insoweit ein objectähnliches (vollständiges) Bild liefern, als dabei lineare Ausmaasse (der Durchmesser, wie der Entfernungen der Structurelemente) von grösseren Vielfachen der Wellenlänge in Betracht kommen. Sobald dagegen diese Ausmaasse auf kleine Vielfache oder gar auf Bruchtheile der Wellenlänge herabsinken, können nicht mehr objectgleiche, sondern nur typische (unvollständige) an die Gliederung und Ausdehnung des wirksamen Theiles eines bestimmten Beugungsspectrums geknüpfte Bilder entstehen.

65 Die hier entwickelte Ableitung der secundären Abbildung in Gestalt einer durch die Beugungswirkung des beobachteten Objectes hervorgerufenen Interferenzerscheinung ging von der Voraussetzung aus, dass bei der Aufeinanderfolge der vier charakteristischen Punkte P, O, P^*, O^*, die durch P^* gehende Ebene des reellen Beugungsspectrums, aus welchem zunächst die Lichtvertheilung in der durch O^* gelegten Bildebene abgeleitet wurde, dieser letzteren auf der Achse voran gehe. Nun lehrt die Betrachtung des Strahlenganges in dem zusammengesetzten Mikroskope, dass die Lichtquelle als stellvertretende Eintrittspupille thätig wird, und dass das ganze System in oder nahe an seinem hinteren Hauptbrennpunkte von ihr ein reelles Bild $P_1^{**} P^{**} P_2^{**}$ — die Austrittspupille des Mikroskopes — entwirft, während das virtuelle Bild des Objectes in die Ebene O^{**} projicirt wird.

Dieses reelle Bild erscheint aber in dem hier in Betracht kommenden Falle, d. h. bei der mikroskopischen Beobachtung eines Objectes als das reelle dicht vor oder in der Pupille des Auges auftretende Beugungsspectrum P^{**} (Fig. 46), in welches die Lichtquelle P vermöge der Beugungswirkung des eingestellten Objectes ausgebreitet wird und die Aufeinanderfolge von Beugungsspectrum und Bildfläche O^{**} ändert sich gegen früher jetzt dahin, dass das erstere der letzteren auf der Achse nachfolgt. Damit wird aber für die Bestimmung der schliesslichen Abbildung nichts Wesentliches geändert, da unter den, bei der früher gemachten Voraussetzung gewonnenen Folgerungen keine einzige enthalten ist, welche nicht auf jede beliebige Form aplanatischer Systeme und auf jede beliebige Verhältnisse des Strahlenganges Anwendung finden könnte. Auch für das zummengesetzte Mikroskop als

Ganzes — welches ja ein Linsensystem von bestimmter Brennweite darstellt — behalten daher die Gleichung auf Seite 89

$$pq = f \, . \sin u,$$

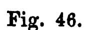


Fig. 46.

sowie alle in den voranstehenden Nummern dargelegten Entwickelungen unbeschränkte Geltung, indem jetzt f die Brennweite des ganzen Mikro-

skopes bedeutet, für x^* die Weite deutlichen Sehens X zu setzen ist und die ε in der Ebene P^{**}, die ε^* und ε' in der virtuellen Bildfläche O^{**} auftreten.

Alle Verhältnisse in Bezug auf die Bestimmung des reellen Beugungsspectrums, das in der Ebene P^{**} erscheint, welche der in Bezug auf die Brennweite f in sehr grossem Abstande befindlichen Lichtquelle zugeordnet ist, bleiben also dieselben, wie bei Bestimmung des reellen von dem Objectivsysteme allein entworfenen, eben dieser selben Lichtquelle zugeordneten Beugungsspectrums. Und ganz in der gleichen Weise, wie man früher aus dem reellen Spectrum hinter dem Objectivsysteme das Bild ableitete, welches das letztere von dem Objecte erzeugt — indem man die Lichtvertheilung in der zu O in Bezug auf das Objectivsystem zugeordneten Ebene O^* aufsuchte — so kann man jetzt aus dem von dem Gesammtsysteme entworfenen Spectrum die Lichtvertheilung in derjenigen Ebene O^{**} ableiten, welche in Bezug auf dieses Gesammtsystem dem Objecte O zugeordnet ist, also unmittelbar das virtuelle Bild bestimmen, welches das Auge in der Weite deutlichen Sehens erblickt.

Da nun — Anpassung für ein weitsichtiges Auge vorausgesetzt — die Fläche O^{**} des virtuellen Bildes in unendliche Ferne gerückt erscheint, so haben wir für die Bestimmung des schliesslichen mikroskopischen Bildes — und dies erscheint für die Anwendung auf den besonderen Fall von Wichtigkeit — jetzt nur die Interferenz von parallelen Elementarstrahlen in Betracht zu ziehen, welche von den einzelnen Punkten des reellen Spectrums P^{**} aus nach den — unendlich entfernten — Punkten jener Fläche hinzielen. Das virtuelle Bild wird aber nach dem früher Erörterten für unser Auge gleichsam zu einem nach allen Richtungen lichtstrahlenden Objecte, dessen reelles Bild durch Vermittelung der brechenden Medien des Auges auf der Netzhaut entworfen wird. Es muss demgemäss jeder Punkt des virtuellen Bildes einem bestimmten Punkte der Netzhaut zugeordnet sein und alle Lichtwege zwischen solchen zugeordneten Punkten müssen gleiche optische Länge besitzen. Auf Grund dieser Thatsache und im Anschlusse an die früheren Betrachtungen folgt nun, dass die Elementarstrahlen jedes nach der virtuellen Bildfläche hinzielenden parallelstrahligen Lichtbüschels in der entgegengesetzten Richtung verfolgt, den zugeordneten Punkt der Netzhaut mit dem gleichen Phasenunterschiede erreichen müssen, den sie in jenen Punkten besitzen und es kann darauf hin die schliessliche Lichtvertheilung auf der letzteren unmittelbar aus der Interferenz jener Lichtbüschel abgeleitet werden.

Bei der mikroskopischen Beobachtung stellt sich sonach das sichtbare Bild des Objectes dar, als die Interferenzwirkung aus einem, vor oder in der Pupille des Auges auftretenden von der beobachteten Objectstructur erzeugten Beugungs-

spectrum auf die Ebene des deutlichen Sehens, oder — durch Vermittlung der Augenmedien — auf die Netzhaut selbst.

Aus der Betrachtung des Strahlenganges in der Fig. 47 geht ferner hervor, dass unter den obwaltenden Umständen dem Auge eine gewisse Betheiligung bei der Begrenzung des wirksamen Spectrums zukommt. Das in der Austrittspupille des Mikroskopes auftretende Beugungsspectrum erscheint nämlich ebenso wie früher begrenzt durch das gleichzeitig mit ihm in jener entworfene Bild des Randes der Objectivöffnung (Iris). Ist nun dieses von dem Ocular erzeugte Bild kleiner als die Pupille des Auges, so bleibt die Begrenzung des Spectrums von ihr unabhängig; wird dagegen — wie es z. B. bei dem Gebrauche schwacher Objectivsysteme mit grosser numerischer Apertur der Fall sein kann — das Oeffnungsbild grösser als die Pupille des Auges, so blendet diese einen Theil des Spectrums ab. Das virtuelle Bild des Objectes im Sehfelde, oder das ihm zugeordnete Bild auf der Netzhaut ist jetzt nicht mehr durch die Iris des Objectivsystemes, sondern durch die Weite der Augenpupille bestimmt, indem diese letztere gerade so wirkt, als ob jene durch eine Blendung verengt worden sei, deren lichte Fläche der Pupille in Bezug auf die zwischenliegenden Ocularlinsen dioptrisch zugeordnet ist.

Im Uebrigen finden alle in der allgemeinen Theorie der Bilderzeugung aus den dort geführten Betrachtungen abgeleiteten Sätze auch auf das virtuelle Bild des beobachteten Objectes in vollem Umfange Anwendung.

4. Versuche über die mikroskopische Bilderzeugung.

An die Theorie der mikroskopischen Abbildung wollen wir nun noch die Betrachtung einer Reihe von Versuchen anknüpfen, welche die erstere mit den wirklichen Thatsachen in unbestreitbare Verbindung zu bringen und damit deren experimentelle Bestätigung zu gewähren im Stande sind. 66

Als Versuchsobjecte können hierzu selbstverständlich nur solche künstliche und natürliche Objecte benutzt werden, welche unter Verwendung eines verhältnissmässig engen Beleuchtungskegels vermöge ihrer regelmässigen Structurverhältnisse ein Beugungsspectrum liefern, in dem die einzelnen abgebeugten Lichtbüschel scharf und deutlich zur Erscheinung kommen, also eine bestimmte wahrnehmbare Trennung der Maxima und Minima der Lichtstärke ausgesprochen erscheint. Derartige Objecte bilden für die grundlegenden Versuche am besten künstlich erzeugte Streifensysteme aus gleichlaufenden oder unter rechten und schiefen Winkeln sich kreuzenden Linien, wie sie in der Abbe'schen Diffrac-

tionsplatte vorliegen, da dabei die Structur genau bekannt ist, aus welcher die verschiedenen mikroskopischen Bilder hervorgehen, wenn die Gruppirung der von jenen erzeugten Einzelspectren durch die Versuchsanordnung geändert wird; nächstdem können auch entsprechend gezeichnete Diatomeenschalen benutzt werden, welche die verschiedensten wünschbaren Structurdetails zur Verfügung stellen.

Die Beobachtung des reellen Beugungsspectrums, zu dessen Darstellung man bei gröberen Structuren Objectivsysteme mit kleiner numerischer Apertur, bei feineren Structuren dagegen solche von grösseren numerischen Aperturen verwendet, kann für unsere Zwecke in der Austrittspupille des Objectivsystemes mittelst des freien Auges vorgenommen werden.

Man verfährt dabei folgendermaassen: Zunächst stellt man das Object auf die gewöhnliche Weise ein und bringt den zu beobachtenden Theil in die Mitte des Gesichtsfeldes. Nimmt man dann das Ocular aus dem Tubus und blickt nun auf das Objectivsystem hinab, so sieht man das Beugungsspectrum desjenigen Objecttheiles, welcher der Pupille des Auges zugeordnet ist, da alle Strahlen, welche durch diese hindurchgehen, vor ihrem Eintritte in das Objectivsystem durch das zugeordnete Flächenelement des Objectes gegangen sein müssen.

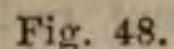
Um den Einfluss zu studiren, welchen die veränderte Anordnung der Beugungsspectra, d. h. das in Wirksamkeitsetzen verschiedener Gruppen derselben, auf die Anordnung des Bildes der Structurmerkmale hervorbringt, benutzt man entsprechende, dicht über die Hinterlinse des Objectivsystemes in einem drehbaren Zwischenstücke angebrachte Blendungen.

Fig. 47.



67 Betrachten wir die erste Linsengruppe der Abbe'schen Diffractionsplatte (Fig. 47) mit parallelen in der einen Hälfte um 15, in der anderen um 7,5 Mikron (1 μ = 0,001 mm) von einander entfernte Linien durch ein schwaches Objectivsystem von etwa 30 mm Brennweite und 0,17 numerischer Apertur (20° Oeffnungswinkel), indem wir dieselbe — um ein Lichtbüschel zu erhalten, wie es ein unterhalb des Objectes angebrachter mit den Linien gleichlaufender Spalt ergeben würde — mittelst der mit dem Hohlspiegel genommenen schmalen Seite der Flamme einer Petroleumlampe mit etwa 25 mm breitem Flachbrenner beleuchten, so giebt das mikroskopische Bild die wirkliche Structur wieder. Entfernen wir hierauf das Ocular und bringen die Pupille des Auges über dem offenen Tubus dahin, wo das Luftbild der Structur entsteht, so erblicken wir, wenn wir vorher auf die Mitte der Gruppe, d. h. so eingestellt hatten, dass die feineren und gröberen Linien zugleich sichtbar waren und das Auge entsprechend bewegen, in der Austrittspupille des Objectivsystemes das

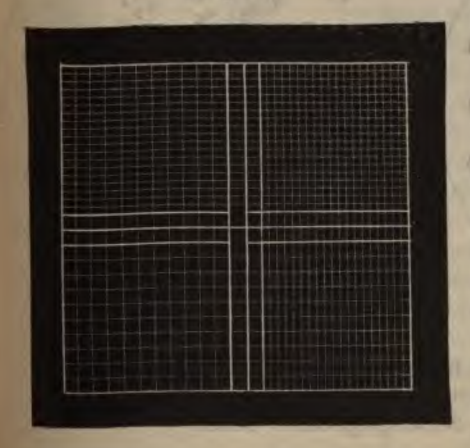
absolute Maximum, d. h. das reelle Bild der Flamme, und neben demselben zu beiden Seiten zwei, in ihren Verbindungslinien auf der Linienrichtung senkrecht stehende Reihen von — den abgebeugten Lichtbüscheln zugehörenden — Spectra (Maxima zweiter Ordnung) (Fig. 48), von denen die einen von dem engeren Streifensysteme erzeugten, gerade doppelt so weit von dem Flammenbilde und von einander abstehen, wie die anderen von dem weiteren Streifensysteme hervorgerufenen.


Fig. 48.



Gehen wir zu den Kreuzgittern über, so ist die Beleuchtung so zu regeln, dass sie die Wirkung äussert, wie eine unterhalb des Präparates angebrachte kreisrunde Oeffnung es thun würde. Wir nehmen zu dem Ende mit dem Planspiegel die breite Seite der ziemlich weit von dem Mikroskope hinweggerückten Flamme und werfen sie in die Mitte des Sehfeldes. Da nun hier immer je vier verschiedene Gittergruppen (Fig. 49 und Fig. 50 a. f. S.) in Betracht kommen, so müssen wir stets je eine derselben zu isoliren suchen, was leicht dadurch gelingt, dass wir die gerade der Beobachtung unterliegende in die Mitte des Gesichtsfeldes bringen und dann nach Entfernung des Oculars durch eine über dem offenen Tubus genau centrirt aufgelegte etwa 1 bis 2 mm weite runde Blendung hinabsehen. Nehmen wir nun zunächst die aus den weiten und wenigst weit entfernten gleichweit abstehenden Linien gebildeten Gruppen links unten und rechts oben vor, so zeigen die Beugungsbilder derselben die Spectren (die mit $a_1 a_2 \ldots$ bezeichneten gelten für die gröbere, die unter $a_1 a_2 \ldots$ dargestellten für die feinere Kreuzung) um das directe Flammenbild in Form von Quadraten (Fig. 51, a. f. S.) oder regelmässigen Sechsecken (Fig 52, a. f. S.) angeordnet, in denen die Abstände der ersteren in

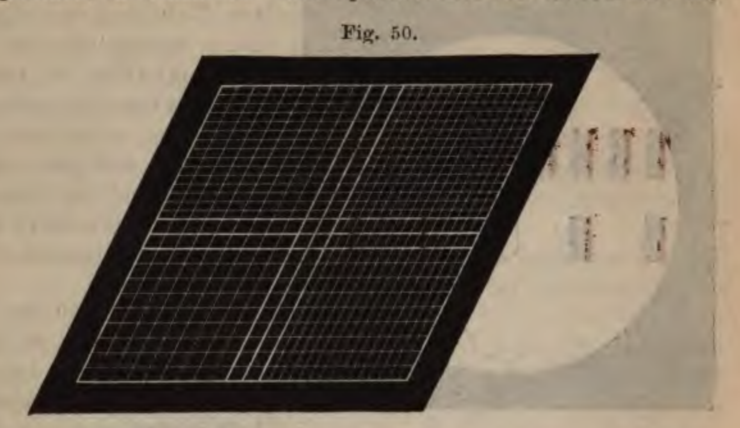
Fig. 49.



gleichem Verhältnisse zu den Linienabständen stehen, wie bei dem vorigen Versuche.

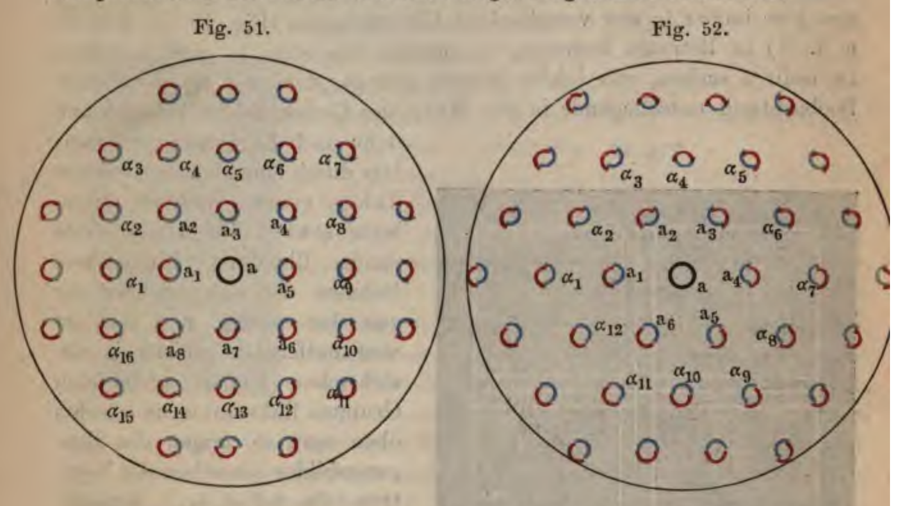
Die beiden anderen Gruppen links unten und rechts oben geben Beugungsbilder, in denen die Einzelspectren um das directe Bild der

Fig. 50.



Lichtquelle in Form von Rechtecken, beziehentlich verzogenen Sechsecken, und in den Linienabständen und Richtungen der Liniensysteme entsprechenden Abständen und Richtungen angeordnet erscheinen.

Fig. 51. Fig. 52.

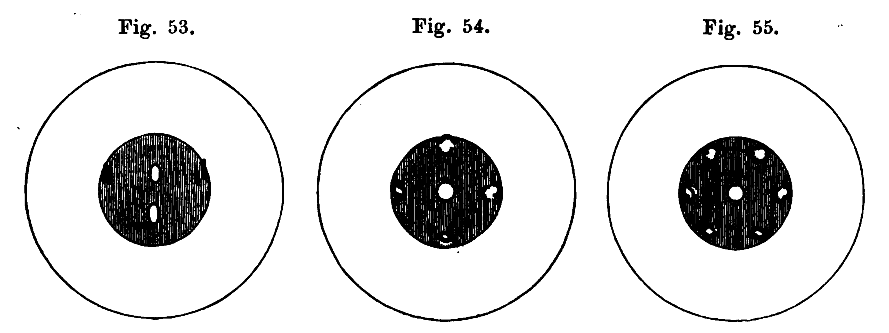


Diese Versuche ergeben die gleichen Resultate, wie die im Voranstehenden durchgeführten theoretischen Betrachtungen, deren Resultate sich in den beiden Sätzen auf S. 98 ausgesprochen finden [1]).

[1]) Vorstehende Beobachtungen können auch bei Tageslicht vorgenommen werden, wenn man im letzten Falle eine sehr kleine kreisförmige, im vorigen

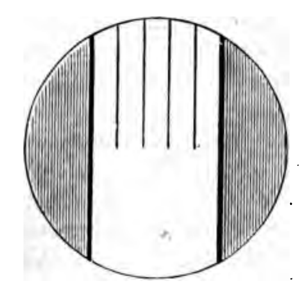
Wählen wir zu weiteren Versuchen aus den dem Abbe'schen Diffractionsapparate beigegebenen Blendungen von den — zunächst zur experimentellen Darstellung der Wirkung verschieden grosser Oeffnung bestimmten — einfachen kreisförmigen Blendungen die engste aus und 68

Fig. 53. Fig. 54. Fig. 55.



bringen sie derart über das Objectivsystem, dass entweder nur das directe oder — bei entsprechender Neigung des Spiegels — eines der abgebeugten Lichtbüschel Zutritt zu dem Mikrokope erhält, dann erblicken wir an Stelle eines beliebigen der beschriebenen Streifensysteme eine je nach dem durch das Präparat veranlassten Lichtverluste mehr oder weniger schwach, aber gleichmässig beleuchtete, scharf begrenzte Fläche ohne jede Zeichnung.

Fig. 56.



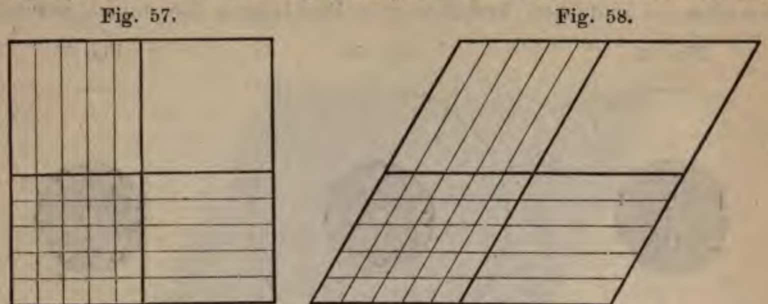
Bei Anwendung einer weiteren Blendung, welche gerade noch die dem directen Bilde der Lichtquelle links und rechts zunächst gelegenen seitlichen Spectren der gröberen einfachen Liniengruppe, je die vier in den Ecken eines Rhombus gelegenen nächsten Spectra des rechtwinkligen oder die ersten sechs Spetren des schiefwinkligen (60^0) Kreuzgitters zulässt (Fig. 53 bis 55), erblicken wir nur die gröberen Streifen der einfachen Liniengruppe (Fig. 56), bei den Kreuzgittern diejenigen Gruppen einfach und grob gestreift, welche neben dem Streifensysteme mit den am meisten genäherten noch dasjenige mit den weiter entfernten Linien enthalten (Fig. 57 und Fig. 58 a. f. S.), während die aus den beiden groben Streifensystemen gebildete Gruppe des quadratischen Gitters ihre volle Zeichnung, die des gleichnamigen schiefwinkligen neben den beiden wirklich vorhandenen noch ein drittes die stumpfen Winkel der beiden anderen, halbirendes Streifensystem enthüllt.

---

eine sehr enge spaltförmige Blendung unter dem Objecte anbringt (diese z. B. bei dem Abbe'schen Beleuchtungsapparate statt der gewöhnlichen Blendungen einlegt).

Wir ersehen schon hieraus, wie das mikroskopische Bild in seiner Gestaltung wechselt, je nachdem mehr oder weniger Bestandtheile des Beugungskegels zur Wirkung gelangen. Eine weitere Reihe von noch

Fig. 57. Fig. 58.

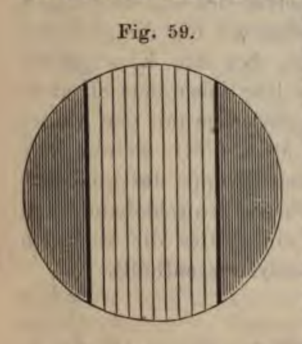


instructiveren Versuchen lässt sich mittelst der Spaltblenden und den Blenden mit mehreren kreisförmigen Oeffnungen ausführen, von denen hier die einfacheren und wichtigeren angeführt werden sollen.

Wählen wir zunächst das einfache Liniensystem und beobachten mittelst der oben beschriebenen Beleuchtungsweise, so lassen sich bei Verwendung der Spaltblendung folgende Ergebnisse gewinnen.

Wird der engste Spalt eingelegt und in gleiche Richtung mit dem Linienverlaufe gebracht, so kann wieder nur der directe Lichtbüschel in das Objectiv gelangen. Das Bild erscheint jetzt ebenso, wie bei dem ersten Versuche der vorhergehenden Reihe. Die zweite weitere Spaltblendung lässt neben dem directen noch jederseits ein abgebeugtes Lichtbüschel der gröberen Streifung (Fig. 48, obere Reihe) eintreten und das mikroskopische Bild zeigt die groben Streifen scharf abgebildet, die feinen dagegen als structurlos helles Band (Fig. 56 a. v. S.). Die dritte Blendung mit drei Spalten ist so eingerichtet, dass sie neben dem directen Lichtbüschel dem ersten abgebeugten Büschel (Fig. 48, untere Reihe) der feineren und dem zweiten der gröberen Linien (Fig. 48, obere Reihe) den Zutritt gestattet. Das Object erscheint unter diesen Umständen, d. h. bei absoluter Gleichheit der betreffenden Beugungsspectren und abgesehen von dem Helligkeitsunterschiede der oberen und unteren Hälfte (davon herrührend, dass die feinen Streifen mehr Licht durchlassen als die weiter entfernten) durch seine ganze Fläche gleichmässig gestreift (Fig. 59), also so, dass die Streifenzahl der gröberen Hälfte in Folge des Ueberspringens ihrer ersten beiderseitigen Spectren verdoppelt gesehen wird.

Fig. 59.



An den beiden Kreuzgittern lässt sich jedes der beiden Streifensysteme für sich in Sicht bringen, wenn man die Abblendung auf einander

folgend in zwei auf einander senkrechten oder um 60° gegen einander geneigten Richtungen derart vornimmt, dass drei oder auch zwei in einer geraden Linie liegende Spectren z. B. $a_1\,a\,a_5, a_3\,a\,a_7; \alpha_1\,a\,\alpha_9, \alpha_5\,a\,\alpha_{13}$ (Fig. 52), oder $a_2\,a\,a_5, a_3\,a\,a_6; \alpha_3\,a\,\alpha_9, \alpha_5\,a\,\alpha_{11}$ (Fig. 52) zur Wirksamkeit kommen. Dreht man den Spalt so, dass er drei in diagonaler Richtung liegende Spectren, etwa $a_2\,a\,a_6$, oder $\alpha_2\,a\,\alpha_{10}$ (Fig. 51) zur Wirksamkeit kommen lässt, dann treten bei dem quadratischen Gitter je ein einziges in dem

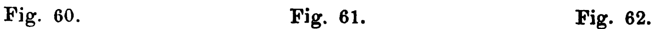
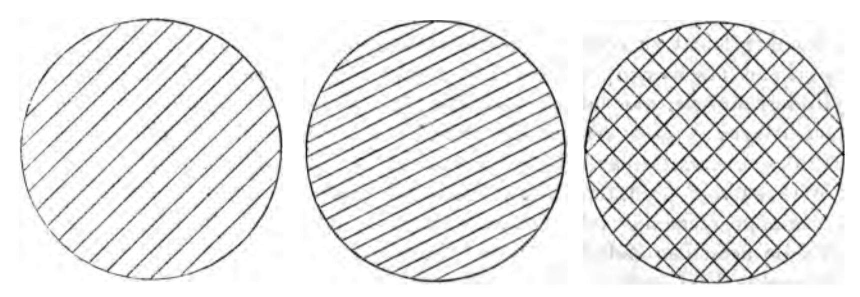


Fig. 60. Fig. 61. Fig. 62.



Verhältnisse von $\sqrt{2} : 1$ (Fig. 60) und von $\sqrt{5} : 1$ (Fig. 62) feineres, als das ursprüngliche und wenn man drei in einem gleichschenkligen Dreiecke liegende Spectren — worunter das Hauptmaximum —, also etwa $a_2\,a\,a_4, \alpha_3\,a\,\alpha_7$ (Fig. 51) anwendet, zwei sich unter rechtem Winkel schneidende, in Bezug auf den Abstand den genannten gleiche Streifensysteme auf (Fig. 62).

Schneidet man in der Beugungsfigur des regelmässig schiefwinkligen Gitters (Gruppe links unten oder rechts oben, Fig. 50) den directen

Fig. 63.

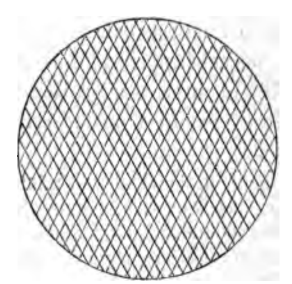
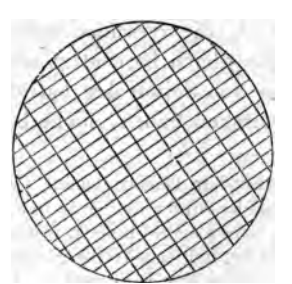


Fig. 64.



Lichtbüschel, sowie alle Beugungsbüschel bis auf drei alternirende der ersten Reihe, z. B. $a_1\,a_3\,a_5$, oder $a_2\,a_4\,a_6$ (Fig. 52), ab, so erhält man als Bild ein aus zwei (beziehentlich drei) sich unter Winkeln von 60° schneidende Streifensysteme, welche einen in dem Verhältnisse von $\sqrt{3} : 1$ kleineren Abstand besitzen, als die ursprünglichen beiden (Fig. 63). Lässt man dagegen die Spectrengruppe $a\,a_2\,\alpha_6$, oder eine ähnlich angeordnete der Fig. 53 zur Wirksamkeit kommen, so resultiren zwei im

Abstande von 1 und $\sqrt{3}$ stehende, sich rechtwinklig schneidende, die Gruppen links oben und rechts unten des quadratischen Gitters genau wiedergebende Streifensysteme (Fig. 64, a. v. S.).

Ausser den genannten lassen sich noch eine Menge anderer nach Zahl und Anordnung verschiedene Spectrengruppen in Wirksamkeit setzen, welche sämmtlich in ihrer Interferenzwirkung verschiedene Abbilder der ihrer Structur nach bekannten Objecte hervorrufen. Wir wollen indessen nicht weiter auf diese Erscheinungen eingehen, da die aus der voranstehenden Versuchsreihe erhaltenen, von jedem Mikroskopiker leicht zu controlirenden Beobachtungsresultate vollkommen ausreichend erscheinen, um die Abbe'sche Theorie der mikroskopischen Bilderzeugung, namentlich auch die Sätze durch beweisende Thatsachen zu belegen [1]), dass erstlich die endliche Gestaltung des mikroskopischen Bildes in unmittelbarer Beziehung steht zu Zahl und Anordnung der in Wirksamkeit gesetzten Beugungsbüschel, und dass zweitens dieses Bild, insolange nicht das volle Gesammtspectrum oder doch die lichtstärkeren Theile desselben Zutritt zu dem Objectivsysteme erlangen, stets nur ein typisches Bild solcher — entweder wirklich vorhandener oder in Wirklichkeit nicht existirender, aber physisch möglicher — Structuren ist, als diejenigen sind, welche das zur Wirksamkeit kommende Beugungsspectrum erzeugen würde. Dagegen möge hervorgehoben werden, dass die Beobachtung einiger natürlicher, dem Mikroskopiker geläufiger Objecte den vorausgehenden genau ähnliche Resultate ergeben.

Ein für die hier in Frage kommenden Erscheinungen höchst interessantes Object bildet das bekannte Probeobject: Pleurosigma angulatum, über dessen Oberflächenzeichnung — die aber keineswegs als der genaue Ausdruck einer wirklich vorhandenen Structur aufgefasst werden darf — bekanntlich von Schacht, H. v. Mohl, Max Schultze, Schiff u. A. die verschiedensten Ansichten ausgesprochen worden sind, welche alle gleich berechtigt oder nicht berechtigt sind und deren Vertheidigung von Seiten der betreffenden Beobachter nur in der früheren, wie wir gesehen haben, nicht begründeten Ansicht von der mikroskopi-

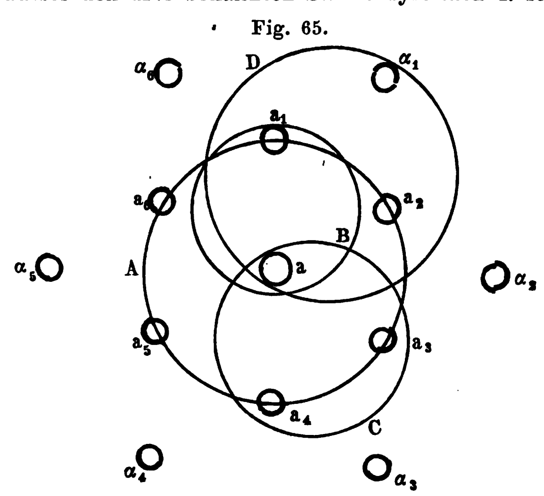
---

[1]) Unter den beschriebenen Versuchen sind diejenigen besonders beweiskräftig, welche direct den Satz bewahrheiten: dass verschiedene Structuren stets das gleiche Bild liefern, wenn die bei der Abbildung wirksamen Beugungsbüschel auf irgend eine Weise gleich gemacht werden. Dieser Thatsache gegenüber bleibt nämlich jede andere Art der Erklärung unbedingt ausgeschlossen, im Besonderen auch die Annahme, dass die Modificationen des Bildes bei veränderter Begrenzung des wirksamen Beugungsspectrums durch eine Diffractionswirkung der angewandten Diaphragmen hinter dem Objectiv verursacht sein könnten.

Unter diesem Gesichtspunkte fällt ein besonderes Gewicht auf das oben beschriebene Experiment, in welchem eine grobe und eine feine Streifung (neben einander in demselben Gesichtsfelde) als gleichartige Streifungen gesehen werden, wenn von beiden nur die übereinstimmenden Beugungsbüschel zum Mikroskope zugelassen werden.

schen Abbildung Wurzel schlagen konnte. Bei demselben erscheinen entsprechend der verschiedenen in Fig. 65 dargestellten Anordnung der Beugungsspectren, welche bei gerader (*A*) und schiefer (*B* — *D*) Beleuchtung in der Austrittspupille unserer Objectivsysteme von 0,50 bis 1,30 numerischer Apertur zur Wirksamkeit gebracht werden können, ausser den drei bekannten Streifensystemen I. bis III. (Fig. 66, a. f. S.) noch sechs weitere ebenso scharf gezeichnete, also gleich existenzberechtigte, von denen IV. bis VI. mit jenen parallel verlaufen aber nur halb so weit von einander stehen, VII. bis IX. aber eine andere Richtung haben und in dem Verhältnisse von $\sqrt{3} : 1$ mehr genähert erscheinen.

Fig. 65.



Daraus erklären sich nun die verschiedenen Ansichten, welche man von den Structuren der Diatomeenschalen erhält, wenn man dieselben unter wechselnder Beleuchtungsart betrachtet. Die zuletzt an Pleurosigma angulatum beobachteten geben uns namentlich auch den Schlüssel für die Erklärung der oben erwähnten verschiedenen Ansichten über dessen feinere Structur, sowie einiger erst in neuester Zeit beobachteter Structurbilder. Trockensysteme und Wasserimmersionssysteme von nicht grosser numerischer Apertur zeigen die bekannten Sechsecke (siehe die Figur von Pl. angul. in dem Capitel über die Prüfung des Mikroskopes) bei centraler Beleuchtung mit weiter (d. h. nicht ganz enger) Blendungsöffnung oder bei schiefem Lichte, wenn z. B. $a\, a_1\, a_2\, a_3$ oder $a\, a_1\, a_5\, a_6$ wirksam werden. Grosse numerische Apertur und centrale Beleuchtung (*A*) ergeben in unter 60° sich schneidende Reihen geordnete helle Kreise, zwischen denen bei sehr scharfen Systemen (homogene Immersion z. B.) noch dunkle Punkte erscheinen (Fig. 67, a. f. S.). Schiefe Beleuchtung und Wirksamkeit von $a_1\, a_2\, a_3, a_1\, a_5\, a_6$ bei einer numerischen Apertur bis 1,10 zeigt schachbrettartige Felderung, wie sie von Schiff und mir beschrieben worden ist (Fig. 68). Sehr schiefe Beleuchtung und Wirksamkeit von $a\, a_1\, a_3\, \alpha_1$ (*D*) oder $a\, a_5\, a_6\, \alpha_5$ bei Objectivsystemen von sehr grosser numerischer Apertur ergeben das eigenthümliche, zuerst von Prof. Abbe und Stephenson beobachtete Bild, wobei die hellen rechteckigen Felder von einem schmalen dunklen Streifen durchschnitten und mit den darüber und darunter liegenden dun-

den ersteren an Ausdehnung gleichen Feldern verbunden werden (Fig. 69). Weitere Formen können durch wechselnde Beleuchtung und Anwendung von Blendungen, welche beliebige Spectren der ersten und zweiten Reihe

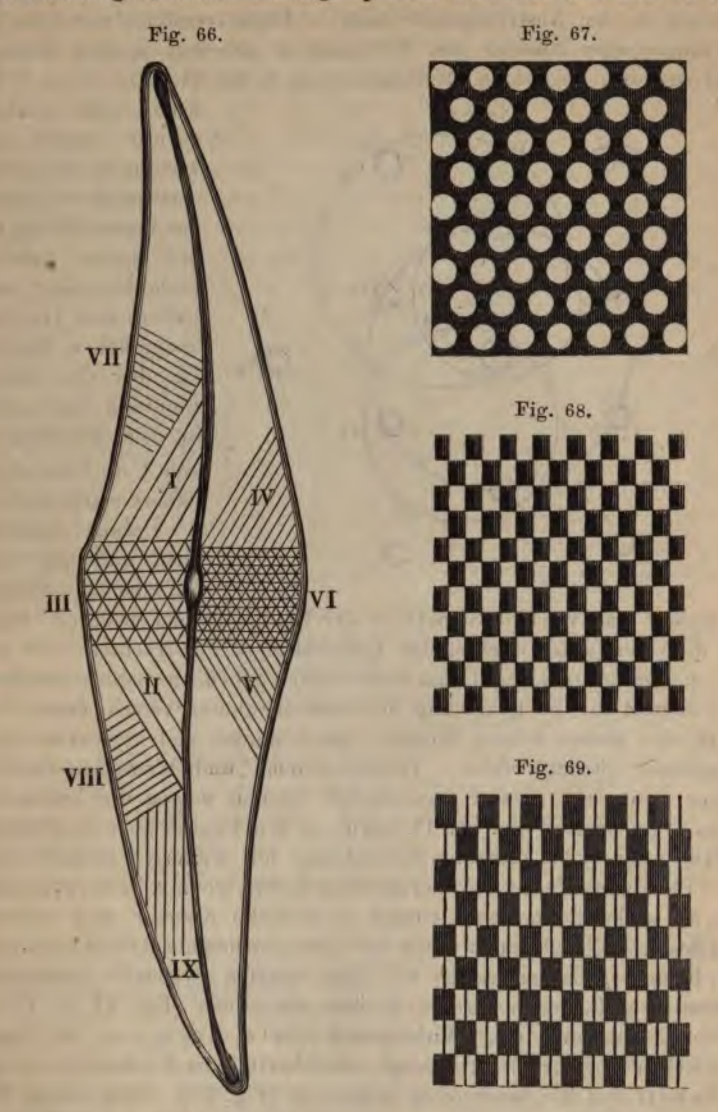


Fig. 66.

Fig. 67.

Fig. 68.

Fig. 69.

ausschliessen und andere allein zur Wirksamkeit gelangen lassen, im hellen wie im dunklen Gesichtsfelde erhalten werden.

Dass die gewöhnliche Felderung, welche wir durch ein Objectivsystem mit grosser numerischer Apertur bei centraler Beleuchtung

sehen — und ebenso die ihr entsprechenden Streifensysteme I. bis III. — dem Abbilde der wirklichen Structur näher stehen als die übrigen Bilder, kann durchaus nicht aus diesen Bildern selbst, sondern allein aus den Bedingungen ihres Zustandekommens geschlossen werden. Die Felderung erscheint, wenn der möglichst grösste Theil des Gesammtspectrums der Pleurosigmaschale zur Wirksamkeit gelangt und möglichst wenig (nämlich nur die entfernteren, lichtschwächeren Büschel der zweiten, dritten Reihe) verloren geht, während jedes der anderen Bilder durch einen viel kleineren Theil des ganzen Beugungsspectrums erzeugt wird. Deshalb darf man schliessen, dass jenes Bild sich weniger weit als die anderen von demjenigen Bilde entfernt, welches der vollen Beugungswirkung der Schale — die keinem Mikroskope zugänglich ist — entsprechen würde.

Drittes Capitel.

Einrichtung des zusammengesetzten Mikroskopes.

I. Der optische Apparat.

1. Das Objectivsystem.

Das Objectivsystem bildet, gemäss der Betrachtungen unter 3. des vorigen Capitels den wichtigsten Theil des zusammengesetzten Mikroskopes. Ihm müssen daher auch, soll das Instrument einen möglichst hohen Grad der Vollkommenheit erreichen, die in Betracht kommenden Verbesserungen zunächst zugewendet werden. Die verschiedenen Mängel der einfachen Linse sind bekannt. Eines der Mittel zur Einschränkung ihrer hauptsächlichsten Fehler, der sphärischen und chromatischen Abweichung, bietet die Verbindung von einer Sammellinse aus Crownglas mit einer Zerstreuungslinse aus Flintglas, wie sie als achromatisches Objectiv beim Fernrohr in Gebrauch ist. Dieses Mittel aber reicht zur Herstellung so vollkommener Objectivsysteme, wie sie für das Mikroskop erforderlich werden, indessen noch lange nicht aus. Eine so kleine Doppellinse, wie sie zu einem nur einigermaassen starken Objectiv für das Mikroskop nothwendig wäre, legt ihrer vollkommenen Ausführun

69

immer sehr bedeutende Schwierigkeiten in den Weg; ausserdem aber kann bei ihr die sphärische Aberration nur bis zu einem kleinen Oeffnungswinkel gehoben werden, da die Zerstreuungslinse dieser Combination auf die Randstrahlen einen weit stärkeren Einfluss ausübt, als auf die nahe der optischen Hauptachse durchgehenden Strahlen. Mit solchen den Fernrohrobjecten nachgebildeten Objectivsystemen wäre daher bei dem Mikroskope noch sehr wenig erreicht, indem, um einigermaassen fehlerfreie Bilder zu erhalten, nur Objective von sehr kleinem Oeffnungswinkel und grosser Brennweite angewendet werden dürften und man die zu erzielende Vergrösserungskraft vorzugsweise in das Ocular verlegen müsste. Sie werden daher immer nur für die schwächsten Vergrösserungen verwendet werden dürfen, wie dies denn auch von einzelnen Optikern noch geschieht.

Um vollkommene Objective von stärkerer und stärkster Vergrösserungskraft herzustellen, muss man zu dem zuerst von Selligue und Amici und seitdem von allen Optikern mit Erfolg angewendeten Mittel greifen, und die einzelnen Doppellinsen zu mehreren zu einem Systeme verbinden.

Die Anforderungen, welche im Laufe der Zeit in Bezug auf Vergrösserung und Oeffnung an das Objectivsystem gestellt worden sind und gestellt werden, haben im allmäligen Fortschreiten verschiedene Grundformen von Objectivconstruction hervorgerufen, welche zum Theil wieder verlassen sind, zum Theil aber noch gegenwärtig ausgeführt werden.

Eine erste Gruppe dieser Formen umfasst die Objectivsysteme von 50 und mehr Millimeter bis zu etwa 15 mm Brennweite und mit sehr geringer, bis zu etwa 35° Winkelöffnung oder 0,30 numerischer Apertur. Hier kommt für die längeren Brennweiten theilweise noch die einfache achromatische Linsenverbindung zur Verwendung, während die kürzeren Brennweiten dieser Grundform die Zusammensetzung des Objectivsystemes aus mehreren, in der Regel zwei Doppellinsen fordern, von denen die hintere Linse die Ausgleichung der in der vorderen Linse noch vorhandenen Abweichung zu bewirken hat.

Die zweite Grundform, welche die Objectivsysteme von etwa 16 mm bis 6 mm Brennweite und bis zu etwa 0,50 numerischer Apertur oder 60° Oeffnungswinkel umfasst, besteht aus dreigliedrigen Systemen. Die ältere Constructionsform verwendet hier drei zweifache Doppellinsen oder eine dreifache Vorderlinse mit zweifacher Mittel- und Hinterlinse. Die neueren Constructionstypen zeigen dagegen eine einfache planconvexe Vorderlinse mit zweigliederiger Mittel- und Hinterlinse.

Geht der Oeffnungswinkel über 60°, also die numerische Apertur über 0,50 hinaus, dann reichen die betrachteten Typen zu einer genügenden Ausgleichung der Abbildungsfehler nicht mehr aus, und es wird die möglichste Annäherung der ersten brechenden Fläche an das Object bezweckende, wahrscheinlich von Amici erfundene Constructionsform

mit halbkugelförmiger unachromatischer Vorderlinse, welche den eigentlichen Ausgangspunkt für die neueren Fortschritte in der Vervollkommnung des zusammengesetzten Mikroskopes bildet, zur Bedingung bester Correction. Bei den Trockensystemen, bei denen eine genügende Einschränkung der sphärischen Abweichung nur für Oeffnungswinkel von 105° bis höchstens 115°, also für numerische Aperturen von 0,80 bis 0,85 möglich wird, falls der freie Objectabstand nicht auf einen sehr kleinen Bruchtheil von der Brennweite des Systemes beschränkt werden soll, kommen theils drei-, theils viergliederige, bei den Systemen für Wasserimmersion nur viergliedrige Objectivsysteme dieser (Amici'schen) Grundform zur Ausführung. Die ersteren enthalten dann neben der einfachen Vorderlinse entweder zweifache, aus einer biconvexen Crownglas- und einer planconcaven Flintglaslinse bestehende Mittel- und Hinterglieder, oder statt deren ein dreifaches Mittel- oder ein dreifaches Hinterglied und zwar je mit einer planconvexen oder biconvexen Vorderlinse. Die viergliederigen Objective dagegen bestehen aus drei zweifachen Hintergliedern, von denen das dritte und vierte als zusammengehörig und den beiden Vordergliedern gegenübergestellt angesehen werden können.

Wo das höchst mögliche Maass der Oeffnung erreicht werden soll, sei es nun bei Objectivsystemen für Wasserimmersion oder bei solchen für homogene Immersion, da wird dieses nur durch das viergliederige System mit sogenannter „duplex front“ erreicht, welches von Tolles und Spencer zuerst und dann von Prof. Abbe in verbesserter Form in Anwendung gebracht worden ist. Diese Form besteht aus zwei einfachen — einer halbkugeligen und einer biconvexen oder planconvexen —, nahe an einander gerückten Crownglaslinsen als vorderste Glieder, denen zwei sogenannte achromatische zweifache oder auch dreifache Linsencombinationen als drittes und viertes Glied folgen.

Da schon bei Oeffnungswinkeln, welche über ganz geringe Grösse hinausgehen, die — namentlich bei der sphärischen Abweichung — rasch und ungleichmässig anwachsenden Abbildungsfehler niemals innerhalb einer Linsencombination beseitigt werden können, so muss — wie schon früher hervorgehoben — bei all den beschriebenen Constructionsformen das Bestreben der praktischen Optiker dahin gehen, dass die in dem einen Gliede gebliebenen oder absichtlich herbeigeführten Reste der sphärischen und chromatischen Abweichung durch absichtlich herbeigeführte Abweichungen in den anderen Gliedern ausgeglichen werden und dass erst in dem letzten Gliede die erreichbar correcteste, die möglichste Vollkommenheit des Bildes bedingende Strahlenvereinigung herbeigeführt wird. Das in der Regel hierbei verfolgte Verfahren besteht darin, dass man ein stark unterverbessertes vorderes Linsensystem mit einem überverbesserten nachfolgenden verbindet und durch entsprechende Regulirung der Entfernung die möglichst vollkommene Ausgleichung herbeiführt.

70 **Immersionssysteme.** Oben wurde betont, dass dem Trockensysteme in Bezug auf seine Oeffnung eine bestimmte, ohne Schädigung nach anderer Richtung hin nicht wohl zu überschreitende Grenze gesteckt ist, welche ziemlich weit unter der Einheit der numerischen Apertur zurück bleibt. Die Ueberschreitung dieser Grenze bis zu gewissen, durch das Maass der numerischen Apertur $n \,.\, \sin u$ bestimmten Bruchtheilen über die Einheit hinaus, auf welcher zur Zeit die noch weitere Erhöhung der Leistungsfähigkeit des zusammengesetzten Mikroskopes im Wesentlichen beruht, ist nur durch das Princip der Immersion, d. h. durch die Zwischenlagerung einer die Luft an Lichtbrechungsvermögen übertreffenden Flüssigkeit zwischen Deckglas und Planfläche der Vorderlinse von besonders für diese Veranstaltung construirtem Objectivsysteme zu ermöglichen. Die Immersion, mit welcher neben dem genannten hauptsächlichen noch einige andere, mehr nebensächliche, aber immerhin ins Gewicht fallende Vortheile verbunden sind, wurde zuerst und zwar zunächst für Wasser von Amici (1850) und dann auch von E. Hartnack (1859) mit Erfolg angewendet, dessen Immersionssysteme aus den ersten sechziger Jahren schon eine numerische Apertur von 1,05 erreichten.

Wasserimmersion (Wasserlinsen, Eintauchlinsen). Der erheblichste Gewinn der Wasserimmersion macht sich darin geltend, dass bei rationeller, unter Anwendung entsprechend grosser Oeffnungsdurchmesser ausgeführter Construction die in das Mikroskop eintretende Lichtmenge (in photometrischem Sinne) und das Abbildungsvermögen gesteigert werden können, ohne dass — und zwar in Folge der bei dem Amici'schen Constructionstypus der Trockensysteme erwähnten, hier in noch etwas höherem Grade hervortretenden Eigenschaft der dicken Vorderlinse — die gleichmässige Verbesserung der Abweichungen mehr erschwert wird. Durch das Einschalten einer Wasserschicht tritt nämlich dieselbe Wirkung ein, als ob man den Sinus des halben Oeffnungswinkels in Luft in dem Verhältnisse des Brechungsindexes von Luft zu Wasser, also um 1,33 mal vergrössert hätte. Es wird sonach bei ein und demselben Oeffnungswinkel in Luft und Wasser in letzterem der Durchmesser der austretenden Strahlenbüschel im Verhältniss zur Brennweite des Objectivsystemes gleichfalls um 1,33 mal vergrössert und diesen (bei gleicher Brennweite) breiteren zu dem Bilde übergeführten Lichtbüscheln entspricht bei gleichem Oeffnungswinkel eine um $(1{,}33)^2$ mal grössere Lichtmenge. Diesem Mehr an Licht folgt nun, sobald die numerische Apertur über die — in Luft nicht einmal zu erreichende — Einheit hinausgeht, noch eine im Verhältniss zu dem Ueberschuss des a über 1,0 stehende Zuführung von in seinen Eigenschaften neuem Lichte — durch Beugung abgelenkte Lichtbüschel — zu dem Bilde, welches aus dem Luftraume gar nicht in das Objectivsystem hätte gelangen, ja nicht einmal von diesem im Luftraume hätte ausgesandt werden können. Dieses neue Licht aber gerade ist es, welches gemäss der

theoretischen Betrachtungen über die mikroskopische Abbildung das Abbildungsvermögen, d. h. das Vermögen, feinere Structurverhältnisse abzubilden, bedingt und erhöht.

Die weiteren durch die Wasserimmersion zu erreichenden Vortheile sind folgende. Erstlich wird bei gleichem Oeffnungswinkel eine vollkommenere Correction der Abweichungen möglich. Zweitens wird durch die zwischenliegende Wasserschicht, welche ein in seinem Brechungsvermögen weniger von dem Glase verschiedenes Medium als Luft vorstellt, selbst in Bezug auf dasjenige Licht, welches auch aus dem Luftraume in das System eintreten könnte, der Lichtverlust vermindert. Drittens erlangt man die Möglichkeit, den Objectivsystemen bei gleicher Brennweite und bei demselben Oeffnungswinkel einen grösseren Objectabstand zu geben, als es in Luft zulässig wäre. Viertens erscheinen die Systeme weit weniger empfindlich gegen Schwankungen in der Deckglasdicke.

Die Anwendung der Wasserimmersion bezeichnete denn auch für den genannten Zeitabschnitt und bis in die letzten Jahre namentlich in Betracht der schwierigsten physiologischen Untersuchungen einen höchst bedeutungsvollen Fortschritt in der Vervollkommnung des zusammengesetzten Mikroskopes.

Homogene Immersion. Schon Amici, E. Gundlach und Charles Spencer hatten in dem Bestreben, die Oeffnung noch weiter zu vergrössern und den Einfluss der Deckglasdicke mehr und mehr auszuschliessen, bald nach Einführung der Wasserimmersion auch andere, stärker brechende Flüssigkeiten, namentlich Glycerin, und der erstere auch verschiedene Oelmischungen als Immersionsflüssigkeit in Anwendung gebracht; allein bis zur vollen Consequenz des Immersionssystemes war man nicht vorgedrungen. Erst den zunächst durch J. W. Stephenson in London angeregten Bestrebungen Professor Abbe's ist es im Vereine mit den tüchtigen Arbeitskräften der optischen Werkstätte von Dr. Carl Zeiss in Jena gelungen, Anfangs 1878 das System der „homogenen Immersion“ zur vollen Ausbildung zu bringen, welches seitdem auch bei uns (Seibert, Hartnack, Schieck, C. Reichert, Leitz u. A.) sowie in England und Amerika mehr und mehr in Aufnahme gekommen ist.

Das Princip der homogenen Immersion beruht darauf, dass mittelst einer dem Crownglas, d. h. dem Material, aus welchem Deckglas und Vorderlinse der Objectivsysteme verfertigt sind, an Brechungsindex und Zerstreuungsvermögen gleiche oder doch sehr nahe kommende Immersionsflüssigkeit zwischen Object und Objectivsystem eine optisch homogene Verbindung hergestellt wird, welche alle Brechung der Lichtstrahlen vor der ersten brechenden Fläche des optischen Systemes aufhebt. Dadurch fällt erstlich der Lichtverlust durch Zurückwerfung hinweg, welcher an den Trennungsflächen optisch verschiedener Medien, namentlich
schief einfallenden Strahlen, eintritt. Dann wird, da die Correc

Objectivsystemes mit sehr grosser numerischer Apertur auf die eines Trockensystemes mit mässiger Oeffnung zurückgeführt wird, ein beträchtlicher Theil der sphärischen Abweichung, welcher in den hinteren Gliedern des Objectivsystemes wieder gehoben werden müsste und unvermeidliche Reste übrig lassen würde, schon im Entstehen beseitigt. Die Definition gewinnt auf diese Weise eine noch höhere Vollkommenheit als bei der Wasserimmersion. Ferner liegt darin die Möglichkeit, die numerische Apertur noch um ein Bedeutendes und zwar gegen die des Trockensystemes ideell im Verhältnisse von 1 : 1,5 gegen die der Wasserimmersionssysteme im Verhältnisse von 133 : 1,5 zu steigern und damit das Unterscheidungsvermögen und die Lichtstärke in erheblichem Maasse zu erhöhen, während der freie Objectabstand ein verhältnissmässig grosser bleibt. Endlich — und dies ist in praktischer Beziehung nicht gering anzuschlagen — wird der Einfluss der Deckglasdicke aufgehoben, indem es nun vollständig einerlei bleibt, ob man ein dünneres Deckglas und eine dickere Flüssigkeitsschicht, oder umgekehrt zwischen Object und Objectivsystem hat. Damit fällt denn auch die Correctionsvorrichtung fort, welche mancherlei Unbequemlichkeiten und Unzuträglichkeiten im Gefolge hat.

Als eine der geeignetsten Immersionsflüssigkeiten hatte Professor Abbe nach ausgedehnten Untersuchungen zuerst das flüchtige Oel erkannt, welches aus dem Holze des virginischen Wachholders (rothe Ceder, Juniperus virginiana) gewonnen wird und welches bei einem Brechungsexponenten von 1,51 ein nur wenig grösseres Zerstreuungsvermögen besitzt als das Crownglas.

Neben diesem Oele kamen noch Copaivabalsamöl ($n = 1{,}504$), ferner Lösungen von Chlorcadmium und Sulfocarbolat in Glycerin (letztere können auf den gewünschten Brechungsindex gebracht werden) zur Verwendung und in neuester Zeit hat Professer Abbe eine Flüssigkeit aufgefunden, welche in Bezug auf die Annehmlichkeit des Gebrauches wohl alle anderen übertreffen dürfte. Es ist das gewöhnliche Cedernholzöl, nachdem dasselbe in dünnen Schichten längere Zeit der Einwirkung von Luft und Licht ausgesetzt worden war. Dasselbe kann dadurch (ohne Steigerung der Dispersion) auf die Consistenz von Ricinusöl und auf den Brechungsindex 1,520 gebracht werden. Für den Gebrauch mit Objectiven, welche einmal auf das natürliche Cedernholzöl adjustirt sind, muss diesem verdickten Olivenöl oder Ricinusöl zugesetzt werden, um seinen Brechungsindex wieder auf 1,51 herabzubringen.

71 **Correctionssysteme.** Zur Hebung des Einflusses, welchen das Deckglas auf die Eigenschaften des mikroskopischen Bildes äussert, sind von den beiden ersten Beobachtern desselben, von Amici (1829) und A. Ross (1837), verschiedene Wege eingeschlagen worden, von denen nur der von dem letzteren gewählte allgemeine Anwendung gefunden hat. Dieser Optiker richtete nämlich seine stärkeren Systeme derart ein,

dass es der Beobachter in der Gewalt hat, die wechselseitige Entfernung zwischen den vorderen und hinteren Linsen des betreffenden Objectivsystemes innerhalb gewisser Grenzen so abzuändern, wie es die Dicke des zur Anwendung kommenden Deckglases erfordert, indem jene Entfernung für ein dickeres vermindert, für ein dünneres vergrössert werden muss. Dass hierdurch die Brennweite des Objectivsystemes und in Folge hiervon die Vergrösserung des Mikroskopes geändert wird, was sich namentlich bei mikrometrischen Messungen störend geltend macht, ist selbstverständlich. Allein, so lange nicht andere Mittel zu dem fraglichen Zwecke in Anwendung kommen können — wie sie in der homogenen Immersion gegeben sind —, muss man diese Uebelstände mit in den Kauf nehmen.

Die Brennweite f und die Lage der beiden Cardinalpunkte, d. h. des vorderen und hinteren Brennpunktes F und F^*, eines Objectivsystemes können mittelst der Zusammensetzungsformeln Vb) und VIb) gefunden werden, sobald die Brennweiten der einzelnen Glieder, sowie die Lage ihrer Brennpunkte (resp. Brennebenen) bestimmt sind.

Mechanische Einrichtung. Die Fassung der Objectivsysteme **72** wird bekanntlich von Messingröhrchen gebildet und hat man dabei vorzugsweise darauf zu sehen, dass die einzelnen Doppellinsen sowohl als auch die zu Systemen vereinigten, hinter einander stehenden Linsen genau centrirt, d. h. so angeordnet werden, dass die optischen Mittelpunkte derselben — was eine schwierige und grosse Geduld erfordernde Arbeit bildet — genau in eine gerade Linie fallen.

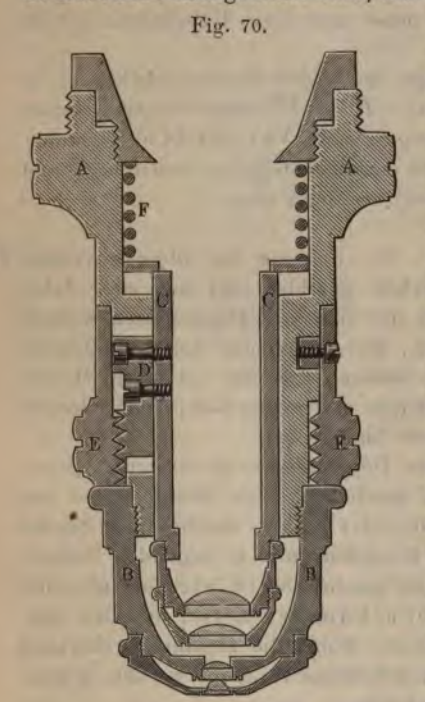
Die Vereinigung der einzelnen Doppellinsen zu Systemen kann nach zwei verschiedenen Methoden geschehen. Die ältere, wobei das Mikroskop eine Anzahl einzelner Objective erhält, welche ihrer Stärke nach mit der Nummer 1, 2, 3 etc. bezeichnet und in folgenden Reihen: 1, 1 + 2, 1 + 2 + 3 etc. auf einander geschraubt, ist jetzt fast gänzlich verlassen, während die andere von Oberhäuser, Amici und den englischen Optikern angewendete Methode, wobei die zusammengehörigen Linsen ein- für allemal zu einem festen Systeme vereinigt werden, gegenwärtig allgemeinen Eingang gefunden hat.

Die Verbesserungseinrichtung (Correctionsfassung) wegen verschiedener Dicke der Deckgläschen beruht, wie bereits erwähnt, im Wesentlichen darauf, dass die einzelnen Linsencombinationen oder Linsen des Objectivsystemes gegen einander verschiebbar sind. Dabei können die beiden hinteren Linsen, oder die hintere Linse allein, feststehende und die vordere, oder die beiden vorderen Linsen, beweglich gemacht, oder es kann das Umgekehrte der Fall sein. Beide Methoden, so verschieden sie auch erscheinen, laufen doch wesentlich auf ein- und dasselbe Ziel hinaus, und es lässt sich dasselbe bei ziemlich gleichartiger mechanischer Ausführung erreichen. Die letztere Art der F[illegible], welche zuerst von Wenham (Quarterl. Journal of micr

Tom. II, p. 138) empfohlen, dann von Nachet, Gundlach, Zeiss u. A. befolgt wurde, hat vor der ersteren, die von dem Erfinder der Correctionsvorrichtung, A. Ross, dann von Plössl, Merz, Hartnack befolgt wurde und noch gegenwärtig hier und da im Gebrauch ist, den Vorzug, dass das Object bei der Ausführung der Correction weder verschwindet, noch das Deckglas Gefahr läuft, zerdrückt zu werden.

Die mechanische Ausführung kann innerhalb der beiden Grundformen eine verschiedene sein und wollen wir hier nur die Zeiss'sche Correctionsfassung (Fig. 70), welcher diejenigen von E. Leitz und C. Reichert nachgebildet sind, als ein Beispiel kurz beschreiben. Dieselbe hat die Röhre BB, in welcher die beiden Vorderlinsen eingesetzt sind, fest mit der Hauptfassung AA verbunden (durch Verschraubung, wie aus der Figur ersichtlich ist), während die Röhre C, welche die hintere Linse (Trockensysteme) oder die beiden hinteren Linsen (Immersionssysteme) trägt, innerhalb AA auf- und abgeführt werden kann. Diese Bewegung, welche durch die Spannfeder F in dem oberen Theile der Fassung regulirt wird, geschieht mittelst Drehung des mit der Röhre C verschraubten, in einer Rinne (rechts in der Figur) und durch die Röhren A und B fixirten Ringes EE, dessen Schraubenmutter in das Gewinde des mit C verschraubten Ansatzes D eingreift. Der Correctionsspielraum für etwa 0,1 mm Differenz in der Deckglasdicke beträgt nicht einmal eine volle Umdrehung und sind die Stellungen des Ringes für je 0,01 Differenz beziffert, so dass die erforderliche Correction für eine bekannte Deckglasdicke sofort und ohne langes Versuchen ausgeführt werden kann.

Fig. 70.



Die Verbindung der Objectivsysteme mit dem Mikroskopkörper wird jetzt allgemein mittelst der Schraube bewerkstelligt. Die von Chevalier zuerst angewendete, von Harting neuerdings empfohlene Bajonettverbindung ist hierzu, wie schon Mohl bemerkt hat, ganz und gar nicht geeignet, da dieselbe leicht der Ausnutzung unterworfen ist, wodurch leicht ein Schlottern entsteht, was gerade hier von sehr nachtheiliger Wirkung sein müsste und wäre in dieser Beziehung nur zu wünschen, ja nachdrücklich zu fordern, dass unsere deutschen Optiker endlich sämmt-

lich für ihre Objectivsysteme die gleiche Schraube und zwar die englische „society-screw“, in England und in Amerika allgemein und auch schon in Deutschland, z. B. bei den Mikroskopen von Zeiss, Leitz, Reichert u. A. (bei denen der letzteren Werkstätten wenigstens — neben den eigenen kleineren — an dem Tubus) mehrfach im Gebrauch ist, annehmen möchten.

2. Der Ocularapparat.

Der Ocularapparat ist gemäss der früheren Erörterungen als aus Tubus und Ocularlinsen zusammengesetzt zu betrachten und haben wir zu untersuchen, welche Rolle jeder dieser Bestandtheile bei der dem ersteren übertragenen Function: das Lupenbild auf dem erforderlichen Sehwinkel auszubreiten, spielt.

Der Tubus. Für die Vollkommenheit des Bildes ist es vollständig gleichgültig, wie die Vergrösserung durch die Tubuslänge und Ocularstärke zu Stande kommt, sobald die Objectivsysteme den einmal angenommenen Verhältnissen richtig angepasst sind. Damit ist aber gesagt, dass weder der lange Tubus, wie er in England gebräuchlich ist, noch der kurze continentale Tubus die Höhe der Leistungsfähigkeit des Mikroskopes berühren, dass aber für den letzteren berechnete Objectivsysteme und namentlich solche von grösserer Oeffnung nicht ohne Weiteres mit dem ersteren gebraucht werden dürfen und umgekehrt. Dagegen äussert die Tubuslänge auf andere Verhältnisse ganz bestimmte Einflüsse. 73

Aus der Gleichung:

$$N = \frac{X}{f_1} \cdot \left(-\frac{\triangle}{f_{,2}}\right)$$

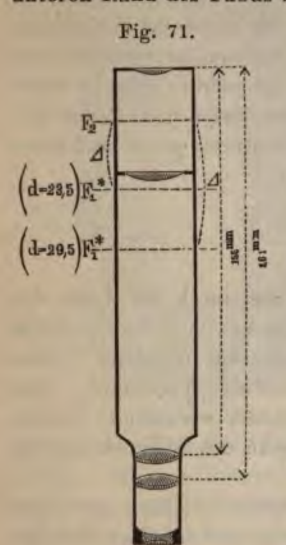
lässt sich sofort erkennen, welche Bedeutung die durch die Lage des hinteren (oberen) Brennpunktes des Objectivsystemes und des vorderen (unteren) Brennpunktes des Oculares bestimmte und messbare Grösse von $\triangle$, d. h. die reducirte oder optische, bei der Verbindung verschiedener Objectivsysteme und Oculare mit einander wechselnde Tubuslänge neben den Brennweiten beider Bestandtheile des Mikroskopes für die Gesammtvergrösserung gewinnt.

Die strenge Beachtung dieses Einflusses allein gewährt eine feste Grundlage für die Erklärung gewisser Thatsachen, welche ohne dieselbe ganz unverständlich bleiben würden. So erklärt sich daraus die verschiedene Vergrösserung zweier Objectivsysteme oder zweier Oculare von gleicher Brennweite an demselben wirklichen Tubus beim Gebrauche der ersteren mit demselben Ocular oder der letzteren mit demselben Objectivsystem und ebenso der Umstand, dass eine gleich grosse Verlängerung des wirklichen Tubus (d. h. des Messingrohres) einmal eine

starke, ein anderes Mal dagegen nur eine schwache Veränderung der Vergrösserung hervorbringt, ganz einfach. Ein in meinen Händen befindliches System 1 von Leitz und ein System *aa* von Zeiss z. B. haben nahezu die gleiche Brennweite von 32,5 mm; bei dem ersten aber liegt die hintere Brennebene 10 mm über, bei dem letzteren 8 mm vor dem unteren Tubusrande. Unter Anwendung eines Oculars Nr. 2 von Zeiss, dessen vordere Brennebene etwa 22 mm unter dem oberen Tubusrande liegt, beträgt daher bei 160 mm langem Rohre im einen Falle die optische Tubuslänge 128 mm, im anderen 146 mm und die Vergrösserungen je 28 und 32 stehen in dem Verhältnisse von 7 : 8. Hätte man den Tubus dabei um 100 mm verlängert, so würden die Vergrösserungen von 28 auf 39 und von 32 auf 42, also einmal um 1,4 mal, das andere Mal nur um 1,32 mal gestiegen sein.

Eine schlagende Verdeutlichung des Einflusses der optischen Tubuslänge gewährt neben den obigen Beispielen namentlich auch das Objectivsystem a^* von Zeiss mit um 6 mm verstellbaren Linsen. Der innere Abstand dieser letzteren beträgt bei der Stellung auf 10 des Indexes 29,5, bei der Stellung auf 0 dagegen 23,5 mm. Nimmt man nun einen wirklichen Tubus von 155 mm Länge, wobei die obere Linsenfläche, von der aus die z_1^* gemessen sind, bei der ersten Stellung etwa in den unteren Rand des Tubus bei der anderen 6 mm tiefer zu liegen kommt und verbindet man mit diesem Objectiv das Ocular Nr. 2 ($f_2 = 42{,}5$) von Zeiss, dessen untere Brennebene F_2 etwa 22 mm unter dem oberen Tubusrande liegt, so ist, da die Ebene F_1^* je 81,6 und 111,5 mm von der Hinterfläche der oberen Linse des Objectives abstehend gefunden wurde, die optische Tubuslänge $\triangle$ für die Stellung des Index auf 10, also für den Linsenabstand 29,5 mm gleich

Fig. 71.



$$155 - (81{,}6 + 22) = 51{,}4 \text{ mm}$$

für die Stellung auf 0, Linsenabstand = 23,55 mm

$$161 - (111{,}5 + 22) = 27{,}5 \text{ mm.}$$

Während bei den Stellungen 10 und 0 die Brennweite etwa von 27 auf 42 mm steigt, verkürzt sich gleichzeitig der Tubus fast auf die Hälfte und es erklärt sich hieraus die rasche Abnahme der Vergrösserung, welche im ersten Falle = 12, im anderen = 4 ist. Hätte man den wirklichen Tubus auf 250 mm verlängert, so würden die optischen Tubuslängen je 146,4 und 122,5 mm und die Vergrösserungszahlen 31 und 17 ergeben haben. Die Vergrösserung würde also unter diesen Verhältnissen im ersten Falle um das Drei-, im anderen nur um etwa das 1,8fache steigen.

Die Grundgleichung: $xx^* = -f^2$ zeigt die Abhängigkeit des Objectabstandes x von der Tubuslänge, indem von dieser der Bildabstand x^* bedingt wird. Je grösser der letztere, desto kleiner wird der erstere und umgekehrt und es rückt damit der Objectpunkt auf der Achse der Vorderfläche des Objectivsystemes bei langem Tubus näher, während er sich bei kurzem davon entfernt. Auch auf die Grösse des Oeffnungswinkels äussert die Tubuslänge — namentlich bei Objectivsystemen von grosser Brennweite — einen bedeutenden Einfluss. So tritt z. B., falls die Iris von der Brennebene der Vorderlinse ziemlich entfernt liegt, immer ein bedeutender Wechsel in dieser Grösse des Oeffnungswinkels ein, wenn der Tubus von 150 mm auf 250 mm verlängert wird, und dieser Wechsel zeigt verschiedene Merkmale, je nachdem die Eintrittspupille des Systemes ein virtuelles Bild über der Objectebene oder ein reelles vor derselben ist. In dem ersten Falle wird der Oeffnungswinkel vergrössert, wenn sich der Objectpunkt dem Objectivsysteme nähert, verkleinert, wenn er sich entfernt. In dem anderen Falle findet das umgekehrte Verhalten statt.

74 Das Ocular. Soll das Ocular, welches an den Abbildungsfehlern in der weiter unten bezeichneten Grenze ohnehin mit Theil nimmt, in Verbindung mit den — immerhin noch unvermeidliche Reste der Abbildungsfehler übrig lassenden — Objectivsystemen von grosser Winkelöffnung die beste Wirkung hervorbringen, so muss auch ihm eine dem Zwecke des ganzen optischen Apparates möglichst entsprechende Einrichtung gegeben werden.

Die Grundform des zur Zeit im Gebrauch befindlichen Oculars ist ein aus einfachen planconvexen Sammellinsen gebildetes zweigliederiges Linsensystem, welches folgenden Zweck verfolgt:

1. Die Möglichkeit, ohne achromatische Linsen gleiche Vergrösserung (d. h. gleiche Brennweiten) für verschiedene Farben zu erhalten.
2. Die Verminderung, beziehungsweise Aufhebung innerhalb eines gewissen Sehwinkels,
   a) der Verzerrung,
   b) der Wölbung des Sehfeldes,
   c) der sphärischen Abweichung der Randbüschel,
   d) des Astigmatismus der äusseren Strahlenbüschel.

Die Bedingung für die Art der Verbindung der beiden unachromatischen Linsen zu einem derartigen Systeme ist auf Grund der Erzielung achromatischer Vergrösserung (vergleiche Seite 22 u. f.) gegeben in der Gleichung:

$$d = \frac{f_1 + f_2}{2},$$

welche besagt, dass die Entfernung der beiden Glieder gleich sein muss der halben Summe ihrer Brennweiten. Diese kann in ver-

schiedener Weise vollzogen werden und es gehen daraus mehrere Einzelformen des Mikroskopoculars hervor, von denen wir die gebräuchlicheren näher betrachten wollen.

Das Huyghens'sche Ocular, eine der unbestimmt vielen möglichen Formen, durch welche der oben gestellten Bedingung Genüge geleistet werden kann, während zugleich die Möglichkeit gegeben ist, mit einer einfachen Construction aus zwei planconvexen Linsen verhältnissmässig günstige Verhältnisse in Bezug auf die Verminderung der oben unter 2a bis d genannten Bildfehler zu erhalten, war schon lange bei dem Fernrohre im Gebrauch, ehe man es für das Mikroskop benutzte. Dasselbe besteht aus zwei planconvexen Linsen einer Vorderlinse: Collectivlinse, die indessen, wie man in Folge eines Missverständnisses von manchen Seiten annimmt, keineswegs eine Vergrösserung des Sehfeldes herbeiführt, und einer Hinterlinse, Augenlinse, welche beide dem Objectivsysteme ihre gewölbte Fläche zuwenden. Als Repräsentant dieses Oculars würde ein Linsensystem von der Form $f_1 = 4$, $f_2 = 2$ und $d = 3$ betrachtet werden können. Indessen brauchen die ersten beiden Elemente, weil das Objectivbild doch immer einen Rest der chromatischen Differenz der Vergrösserung enthält und es deshalb zu weit gegangen wäre, wenn man die äussere Vollkommenheit zu erstreben suchte, in der Praxis nicht genau in den gegebenen Verhältnissen eingehalten zu werden.

Aus der beschriebenen Art der Verbindung geht eine Lage der beiden Brennpunkte des Systemes hervor, welche dadurch gekennzeichnet ist, dass der vordere, hier virtuelle Brennpunkt F zwischen die beiden Linsen fällt, der hintere, reelle, F^* wenig über der Hinterfläche der zweiten Linse zu liegen kommt, während für positive x — wie sie in der That auftreten — eine positive Vergrösserung, d. h. ein aufrechtes virtuelles Bild des Luftbildes auftritt.

Die rechnungsmässige Bestimmung dieser Lage, sowie der Brennweite, vollzieht sich in derselben Weise wie bei dem Objectivsysteme.

Fassen wir nun die Function des Oculares bei dem Abbildungsvorgange ins Auge, wie er sich aus der schematischen Zerlegung des Mikroskopes (S. 64 u. f.) ergiebt, so gestaltet sich dieselbe folgendermaassen.

Das von dem aus dem Mikroskopobjectiv und der Zerstreuungslinse L_2 combinirt gedachte Objectivsystem erzeugte Lupenbild wird durch die wiederholten Brechungen in den beiden Vorderlinsen des Ocularapparates, d. h. in der mit der genannten Zerstreuungslinse zu einer Planplatte verbundenen Sammellinse L_1 und der Vorderlinse (Collectiv) des Oculars als ein verkleinertes, verkehrtes, etwas über der vorderen (unteren) Brennebene F des Oculars gelegenes, reelles Luftbild in den Objectraum des letzteren projicirt und endlich durch die letzte brechende Fläche: die Augenlinse, in der Weite des deutlichen Sehens auf den erforderlichen Sehwinkel ausgebreitet.

Hieraus geht hervor, dass der letzte Vorgang bei der Abbildung, d. h. die Divergenzänderung der von den einzelnen Objectpunkten ausgehenden Strahlenbüschel bis auf geringe Abweichung in der Weise erfolgt, wie an unendlich engen Strahlenbüscheln; und diese Thatsache giebt zugleich den Leitfaden an die Hand für die Betrachtung des Einflusses, welchen das Ocular auf die Abbildungsfehler ausübt. Es folgt daraus, dass eine merkliche sphärische Längenabweichung — wenigstens auf der Achse — im Ocular nicht mehr eintreten kann, weil diese mit dem Quadrat der wirksam werdenden Linsendurchmesser abnimmt, also sehr klein bleiben muss, wenn — wie es im Ocular der Fall ist — der Querschnitt der Strahlenkegel auf einen kleinen Bruchtheil der Brennweiten oder der Krümmungshalbmesser der Linsen verringert erscheint. Die chromatische Längenabweichung hingegen ist, weil sie in der Verschiedenheit der dioptrischen Elemente: Brennweite und Ort der Brennpunkte für verschiedene Farben ihren Grund hat, allerdings unabhängig von den Divergenzwinkeln der Strahlenbüschel. Die Undeutlichkeitskreise aber, welche aus ihr entspringen können, nehmen ab im Verhältnisse mit dem Divergenzwinkel (oder dem Querschnitt) der Strahlenkegel, wie bei der Betrachtung der Verhältnisse bei der einfachen Linse (S. 23) gezeigt worden ist. Aus dem dort Mitgetheilten wird ersichtlich, dass auch bei ganz unachromatischen Ocularlinsen eine irgend merkliche chromatische Abweichung in der Focalwirkung nicht eintreten kann, weil beim Ocular des Mikroskopes noch günstigere Verhältnisse eintreten als bei der Lupe, indem der Querschnitt der von dem virtuellen Bilde ausgehenden Strahlenbüschel bei jenem stets auf den Querschnitt der Austrittspupille des Mikroskopes, also auf einen verhältnissmässig kleinen Bruchtheil von der Brennweite der Ocularlinsen beschränkt bleibt.

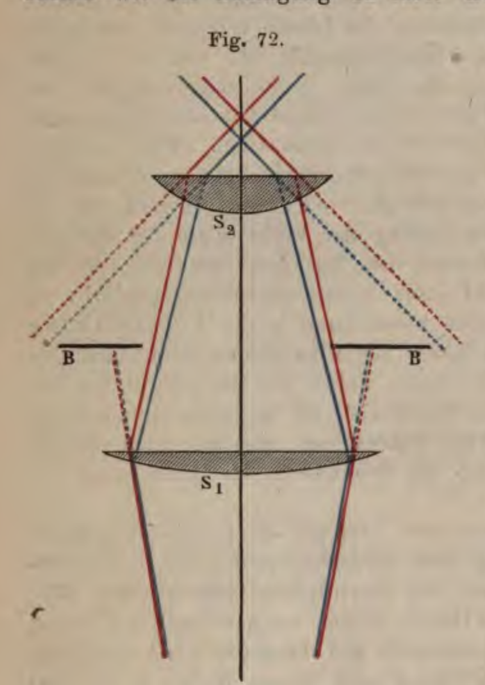
Diese Betrachtung zeigt nun auch, dass alle die verschiedenseitigen Angaben über die Verbesserung oder Verschlechterung der in dem Objectivsysteme gebliebenen Reste von eigentlichen Aberrationen aller Begründung entbehren, da das Ocular keinen nennenswerthen Einfluss auf den Gang der eigentlichen sphärischen und chromatischen Abweichung äussern und dass sich seine Wirkung nach dieser Richtung hin und unter Voraussetzung richtiger Construction nur auf die S. 127 bezeichneten Punkte erstrecken kann.

Was zuvörderst die Erzielung gleicher Vergrösserung, beziehentlich gleicher Brennweite für Strahlen verschiedener Farbe betrifft, so werden die Hauptstrahlen für Roth und Blau (Fig. 72, a. f. S.), welche bei ihrem Eintritte in das Ocular nach demselben Punkte des Luftbildes hinzielen, wie bekannt, von der Vorderlinse verschieden, und zwar der blaue Hauptstrahl stärker, als der rothe gebrochen, und trifft daher der erstere die hintere Linse in geringerem Abstande vom Scheitel als der letztere. Es erfährt somit der blaue Hauptstrahl an der letzten Linse trotz des stärkeren Brechungsvermögens für Blau eine geringere Ablenkung als

der rothe Hauptstrahl, sofern nur die Treffpunkte genügend weit auseinander gerückt sind — was man offenbar durch die Entfernung zwischen der Collectiv- und Augenlinse in der Gewalt hat. — Ist diese Entfernung richtig gewählt, so bewirkt die letztere Linse eine solche Brechung, dass der rothe und blaue Strahl in gleicher Richtung austreten, also für das Auge von einem Punkte eines entfernten Sehfeldes auszugehen scheinen. Das Gleiche darf man für die zwischenliegenden Farben annehmen und damit wird die chromatische Differenz der Vergrösserung, soweit das Ocular betheiligt ist, gehoben erscheinen.

Die Aufhebung der Verzerrung des Bildes, deren Ursprung wir ebenso wie die Bedingung zu ihrer Beseitigung weiter oben schon kennen gelernt haben, erfordert, dass das Ocular derart construirt sei, dass die nach der Mitte der Eintrittspupille des Objectivsystemes und nach der Mitte der ihr zugeordneten Austrittspupille des ganzen Mikroskopes hinzielenden Strahlen ein constantes Verhältniss der Tangenten ihrer Neigungswinkel zeigen. Diese Constanz könnte nun mittelst einer einfachen Linse nicht erzielt werden, da hier die Hauptstrahlen der äusseren Strahlenbüschel eine verhältnissmässig zu grosse Divergenzänderung erleiden würden. Durch die Vertheilung der Brechung auf zwei in der entsprechenden Entfernung mit einander verbundene Kugelflächen lässt sich jedoch die Divergenz der Hauptstrahlen jener Strahlenbüschel wenigstens über einen begrenzten Raum des Sehfeldes hin auf die erforderliche Winkelgrösse bringen und damit die Bildähnlichkeit innerhalb eines mässigen Sehwinkels herbeiführen.

Fig. 72.



Die Wölbung des Sehfeldes kann auch durch das zweigliederige Ocular — und zwar wie ich mich an durch meine Hand gegangenen orthoskopischen, achromatischen und aplanatischen Ocularen zu überzeugen Gelegenheit gehabt habe, durch irgend welche Construction desselben — nicht ganz aufgehoben werden. Es ist indessen immer möglich, durch die der obigen Bedingungsgleichung entsprechende Anordnung der Linsen ein geringeres Hervortreten dieses Fehlers herbeizuführen, als es bei einer

einzigen Linse der Fall sein würde. So äussert diese Construction denn auch nach dieser Richtung hin eine günstige Wirkung, wie sie zugleich der Verminderung der sphärischen Abweichung ausserhalb der Achse und vor Allem in den Randbüscheln, sowie des Astigmatismus der äusseren Strahlenbüschel zu dienen vermag.

Von dem Huyghens'schen unterscheidet sich das Ramsden'sche bei dem Mikroskope selten und nur zu Messungszwecken angewendete, zu einzelnen dieser letzteren (z. B. Bestimmung von Brennweiten etc.) aber auch unentbehrliche Ocular dadurch, dass seine beiden — ebenfalls planconvexen — Linsen mit ihren Scheiteln einander zugekehrt sind und deren Abstand ein weit kleinerer ist. Dasselbe hat in seiner Construction den gleichen Bedingungen gerecht zu werden, wie das Huyghens'sche Ocular und es repräsentirt seine typische Gestalt den Sonderfall

$$f_1 = f_2, \text{ also } d = f_1 = f_2$$

wobei dann auch die Hauptbrennweite $f = f_1 = f_2 = d$ wird. Da indessen bei genauer Einhaltung dieser Bedingungen die Unbequemlichkeit eintreten würde, dass der vordere reelle Brennpunkt gerade in die Collectivlinse fiele (was die Anbringung eines Mikrometers hindern würde) und da andererseits die praktische Anwendung doch nur eine annähernde Erfüllung derselben erfordert, so lässt man die Ausführung der Construction nach verschiedenen Richtungen von obiger Grundform abweichen. Man nimmt einmal den Abstand der Linsen etwas kleiner, um den vorderen Brennpunkt noch vor der Collectivlinse zu erhalten und dann die Brennweite des Collectivs etwas länger als die des Augenglases, um den hinteren Brennpunkt — und damit die Austrittspupille des Mikroskopes — in etwas grösseren Abstand von der Augenlinse zu verlegen.

Die Construction der unter den Namen orthoskopisch, periskopisch, aplanatisch bekannten Oculare geht darauf hinaus, durch Anwendung achromatischer Linsen für die Beseitigung der Verzeichnungsfehler, wie der sphärischen Abweichung und des Astigmatismus der Randbüschel, Brennweiten und Abstand der Linsen zur freien Verfügung zu haben, ohne durch die Rücksicht auf Farbencorrection beschränkt zu sein. Von einer näheren Betrachtung derselben können wir hier um so eher absehen, als die Ansicht, als ob durch dieselben in dem Objectivsysteme noch gebliebene Abweichungsreste beseitigt werden könnten, durchaus unbegründet ist.

Das Vollglasocular (Holosteri'sches Ocular) wurde zuerst in Amerika verwendet (Hagen, Max Schultze'sches Archiv Bd. IV, 1870, Seite 205) und von Hartnack auch bei uns eingeführt. Dasselbe bildet eine Art Coddington'sche Lupe, deren obere Brennebene etwa in den oberen Linsenscheitel fällt, während die untere (vordere) über dem unteren Linsenscheitel, also in der Linse liegt, so dass eine ähnliche Wirkung erzielt wird, wie bei dem Huyghens'schen

Collectiv- und Ocularlinse werden in der Regel in einer Messingröhre in festem Abstande eingeschraubt (Fig. 73). Der Ort der Blendung, welche dazu dient, um scharfe Begrenzung eines bestimmten Bildfeldes herbeizuführen, ist bei jeder Construction des Oculares durch den Ort des vorderen (unteren) Brennpunktes bestimmt. Für ein weitsichtiges Auge fällt er genau — sonst wenigstens annähernd — mit dem letzteren zusammen. Liegt der vordere Brennpunkt vor der Collectivlinse, wie bei dem Ramsden'schen Oculare, so ist die Ebene der Blendung unmittelbar gegeben. Ist dagegen F virtuell, wie beim Huyghens'schen Oculare, so muss sie hinter dem Collectiv durch denjenigen Punkt der Achse gehen, welcher diesem virtuellen F in Bezug auf das Collectiv conjugirt ist.

Fig. 73.



3. Der Beleuchtungsapparat.

Der dritte Theil des optischen Apparates unserer zusammengesetzten Mikroskope besteht aus dem Beleuchtungsapparate. Nun verlangen durchsichtige und undurchsichtige Gegenstände, jegliche in ihrer Art, eine eigenthümliche Beleuchtungsweise und zwar erstere mittelst durchgehenden, letztere mittelst auffallenden Lichtes. Danach zerfallen denn auch die Beleuchtungsvorrichtungen in zwei wesentlich verschiedene Gattungen.

75 Beleuchtungsvorrichtung für durchfallendes Licht. Am häufigsten kommt die Beobachtung mittelst durchfallenden Lichtes vor, sei es, dass die Gegenstände schon von Natur aus dafür passend sind oder erst durch Präparation in geeigneter Weise dazu hergerichtet werden. Wir haben uns demgemäss zunächst der Betrachtung der hierzu verwendeten Beleuchtungsvorrichtungen zuzuwenden. Ehe wir aber dazu schreiten, müssen wir uns darüber klar werden, was ein derartiger Apparat zu leisten vermag. Nun zeigen die früher über die Strahlenbegrenzung gepflogenen Erörterungen Folgendes. Es giebt keine einzige Wirkung der Beleuchtung, welche wesentlich von der Gestalt des Spiegels oder von einer besonderen Construction des Beleuchtungssystemes mit seinen Zugaben (Condensor) abhängig wäre; denn wenn von der Absorption und Ablenkung der Lichtstrahlen abgesehen wird, welche bei ihrem Durchgange durch das Object herbeigeführt werden, so besitzt der entweder in der Austrittspupille des Objectivsystemes oder in dem Augenpunkte des Mikroskopes genommene Querschnitt der abbildenden Strahlenkegel augenscheinlich

die gleiche Helligkeit, wie sie die Lichtquelle selbst (eine weisse Wolke, eine weisse Wand, eine Lichtflamme u. dergl.) gewährt, wenn sie mit freiem Auge beobachtet wird. Keine Art des Beleuchtungsapparates (Planspiegel, Hohlspiegel, Sammellinse, Prisma etc.) kann die Helligkeit dieser Querschnitte im Vergleiche zur Helligkeit der ursprünglichen Lichtquelle vermehren oder vermindern, soweit dies letztere nicht etwa durch Absorption, Zurückwerfung oder Brechung innerhalb des Objectes geschieht. Wenn eine Lichtquelle von bestimmter Leuchtkraft vorausgesetzt wird, so hängt die Wirkung der Beleuchtung einzig und allein von den oben beschriebenen Querschnitten ab, welche, sofern der Spiegel Licht nach allen Richtungen der Objectebene zurückstrahlt, oder die Blendungsöffnung des Beleuchtungssystemes in ihrem ganzen Umfange von dem einfallenden Lichtkegel ausgefüllt wird, nichts Anderes sind, als die Bilder des ersteren oder der letzteren. Der Durchmesser dieser Bilder hängt aber bei dem Gebrauche eines bestimmten Objectivsystemes im einen Falle immer von dem Durchmesser des Spiegels und seiner Entfernung von der Objectebene, im anderen von Durchmesser und Entfernung der Blendungsöffnung in Bezug auf die Brennweite des Beleuchtungssystemes ab. Besitzt die Lichtquelle eine hinreichende Ausdehnung, um in jedem Falle in allen von dem Umfange des Oeffnungswinkels umfassten Richtungen Strahlen von gleicher Leuchtkraft zu gewähren, so ist die Wirkung des Plan- und Hohlspiegels — wie auch die Verfolgung des Strahlenganges ergeben hat — vollständig die gleiche und es hängt diejenige des letzteren wie eines beliebigen Beleuchtungssystemes keineswegs davon ab, ob dieselben ein scharfes Bild der Lichtquelle in der Objectebene entwerfen, d. h. ob ihre Brennpunkte in die letztere fallen und das System achromatisch sei oder nicht.

Etwas anders liegt, wie wir weiter oben gesehen haben, die Sache, wenn die Lichtquelle in irgend einer Weise beschränkt ist, also z. B. das Licht einer hellen Wolke, eines durch die Fensteröffnung begrenzten Stückes des Himmels, irgend einer Lichtflamme zur Beleuchtung verwendet wird. In diesem Falle wird immer diejenige Beleuchtungsvorrichtung am vortheilhaftesten wirken, welche die Beschränkung in möglichst hohem Grade unwirksam zu machen im Stande ist. Hier allein haben, wie es schon aus der Betrachtung des Strahlenganges innerhalb des Beleuchtungsapparates für sich ersichtlich, durch die Beobachtung der Oeffnungsbilder aber noch entschiedener dargethan wird, der Hohlspiegel, wie zwischen Spiegel und Objectebene eingeschobene Sammellinsen einen Vorzug vor der Anwendung des Planspiegels, indem sie die Grundfläche des Beleuchtungskegels erweitern. Dieselben wirken in Folge hiervon so, als ob die Lichtquelle ohne Verminderung ihrer Leuchtkraft auf grössere Ausdehnung gebracht oder näher an das zu beleuchtende Object herangerückt würde.

Unter allen Umständen kann aber ein mikroskopischer Beleuchtungsapparat irgend welcher Art keinen anderen Zweck habe

kein anderes Ziel erreichen, als mittelst einer Lichtquelle von gegebener Lage und Ausdehnung eine gleichförmige und — bis auf die erwähnten Lichtverluste — in allen Richtungen eines weiten Oeffnungskegels in der Leuchtkraft unverminderte Lichtstrahlung am Objecte herzustellen, sowie eine sichere und umfassende Abstufung in Bezug auf Oeffnung und Neigung des jeweilig benutzten Lichtkegels zu ermöglichen.

In der Praxis sind von dem Beleuchtungsapparate verschiedene Bedingungen zu erfüllen, welche wesentlich durch die Art und Beschaffenheit der Objecte, namentlich aber durch deren feinere Structurverhältnisse bestimmt werden. Die einen verlangen ein sehr intensives, die anderen ein mehr gemässigtes Licht; die einen enthüllen das feinere Detail ihrer inneren, namentlich aber mancher sehr zarten äusseren Structurverhältnisse am besten bei schief einfallenden Strahlen, die anderen lassen dagegen zur genauen Erkennung namentlich der feineren inneren Structur nur gerades Licht zu. Schliesslich bedingt die Construction der Objectivsysteme die Anwendung eines Lichtkegels bald von kleinerer, bald von grösserer Oeffnung, um verschiedene Structurverhältnisse mit der ihnen angemessenen Klarheit zu erkennen. Hieraus und aus dem Vorausgehenden ergeben sich denn unmittelbar die Anforderungen, denen ein vollständiger Beleuchtungsapparat zu genügen hat.

Erstens muss er es möglich machen, sowohl gerade, d. h. mit ihrer Achse in der Richtung der optischen Achse des Mikroskopes dahingehende, sowie von allen Seiten her schief einfallende, mit ihrer Achse die optische Achse unter beliebigen Winkeln schneidende Lichtkegel auf den Gegenstand zu leiten und die Uebergänge in der Einfallsrichtung des wirksamen Strahlenkegels möglichst rasch und leicht herbeizuführen.

Zweitens muss es in der Gewalt des Beobachters liegen, je nach Bedürfniss Lichtkegel von grösserer oder kleinerer Oeffnung, d. h. Lichtkegel, gebildet aus Strahlen von verschiedenen Divergenzwinkeln, zur Beleuchtung zu verwenden und damit möglichst viele und feine Abstufungen in der Intensität des Lichtes zur Verfügung zu haben.

Im Allgemeinen genügt diesen Bedingungen ein ausreichend grosser, allseitig beweglicher Spiegel in Verbindung mit einer entsprechend eingerichteten Blendungsvorrichtung, in höherem Maasse und weiterem Umfange jedoch ein in seiner Ausführung möglichst einfach gehaltener, zweckentsprechend gebauter, besonderer Beleuchtungsapparat.

Um das von dem Himmel oder von einer künstlichen Lichtquelle ausstrahlende Licht aufzufangen und nach der Einstellungsebene zu reflectiren, kann man einen Plan- oder einen Hohlspiegel verwenden. Am zweckmässigsten erscheint jedoch, wie schon oben aus der zweiten Forderung hervorgeht, die Vereinigung beider Spiegelarten in einer Fassung in der Art, dass sich auf der Vorderseite ein ebener, auf der

Rückseite ein hohler Spiegel befindet. Man wird dann bei schwachen Vergrösserungen immer den engeren Lichtkegel verwenden, welchen der Planspiegel gewährt und dadurch eine angenehmere und zweckmässigere Beleuchtung erzielen können, als wenn man den von dem Hohlspiegel ausgehenden breiteren Lichtkegel auf das Object leitet.

Die Grösse des Spiegels, als dessen Form man die kreisförmige festgehalten hat, kann mannigfach wechseln, da es dabei, wie aus dem Früheren hervorgeht, nur auf das Verhältniss zwischen dessen Durchmesser und dessen Abstand von der Einstellebene — oder auf die scheinbare Grösse des Spiegels für den Ort des Objectes — ankommt und der grössere Spiegel nur den Vortheil hat, dass er bei grossem Abstande denselben Lichtkegel liefert, wie ein kleinerer bei kleinem Abstande. Dieselbe hängt von mancherlei Umständen, namentlich auch von der Form des Statives ab und schwankt im Allgemeinen zwischen 25 bis 50 mm; sie kann aber unter Umständen auch auf ein noch kleineres Maass heruntergehen, ohne dass — für schwächere Vergrösserungen wenigstens — die Beleuchtung des Sehfeldes allzusehr beeinträchtigt wird.

Die Verbindung des Spiegels mit dem Stative geschieht entweder mittelst eines eigenen Trägers oder durch Befestigung an der Säule, welche den Körper des Mikroskopes trägt (Hartnack, Zeiss, Schiek, Merz u. A.). Er hängt dabei bei einfacherer Einrichtung in einem Bügel, welcher sich mittelst eines Stiftes um seine horizontale oder senkrechte Achse dreht, während der Spiegel selbst in einer auf dieser senkrechten Richtung um seine Querachse beweglich ist, so dass er allseitig und unter jedem Winkel gegen die Lichtquelle geneigt werden kann. Diese Bewegung ist indessen nicht hinreichend, um der zweiten, oben gestellten Anforderung: von allen Seiten her schiefes Licht, sowie Lichtkegel von verschiedener Divergenz auf den Gegenstand fallen lassen zu können, zu entsprechen. Dazu ist es nothwendig, dass der Spiegel ausserhalb der optischen Achse des Mikroskopes gebracht, sowie höher und tiefer gestellt werden kann. Zu dem ersteren Zwecke, also zur Erzielung geneigter Strahlenbüschel braucht der Spiegel, da man den Gegenstand selbst entweder mittelst der Hand oder mittelst später zu beschreibender mechanischer Hülfsmittel drehen kann, gerade nicht eine allseitige Beweglichkeit gegen die Achse zu besitzen, sondern es genügt, wenn er sich in einer senkrechten Ebene zur Seite oder nach vorwärts bewegen lässt. Am einfachsten ist die von Amici wieder aufgenommene Einrichtung, dass der Bügel, welcher den Spiegel trägt, an dem untersten Ende einer mit der Säule verbundenen Kurbel befestigt wird, die sich am oberen Ende in einem festen Stifte dreht und eine Bewegung nach links und rechts ausführen kann. Für Stative mit festem Objecttische empfiehlt sich indessen die von Zeiss eingeführte Einrichtung, mittelst welcher der an einem gegliederten Träger aufgehängte, schief gestellte Spiegel sich in einem Bogen drehen lässt (siehe Figur 80 auf Seite 143).

Die Vergrösserung oder Verkleinerung des angularen Durchmessers der lichtgebenden Fläche und damit die Steigerung oder Minderung der Lichtmenge ist, wie wir auf Seite 46 nachgewiesen haben, in gewissem Umfange durch Annäherung und Entfernung des Spiegels zu erreichen. Die hierzu erforderliche senkrechte Bewegung des letzteren kann entweder in den Stift des Bügels (Zeiss u. A.) oder der Kurbel (Hartnack u. A.) verlegt sein, welcher mittelst entsprechender Vorrichtungen auf- und abwärts geschoben werden kann.

Um die Abstufungen in der Menge des von dem Spiegel reflectirten Lichtes in weiterem Umfange regeln zu können, bedarf es der Blendungsvorrichtungen, mittelst deren für centrale Beleuchtung ein beliebiger Theil des von dem Spiegel ausgesendeten Lichtkegels abgeschnitten und damit der wirksame Theil der leuchtenden Fläche nach Bedürfniss beschränkt werden kann. Da es aber bei Betrachtung verschiedenartiger Gegenstände und zur Erkennung von mancherlei Einzelheiten in den Structurverhältnissen derselben nicht gleichgültig ist, ob durch die Blendung die von den Randtheilen oder von der Mitte des Hohlspiegels zurückgeworfenen Strahlen abgeschnitten werden, da es vielmehr wünschenswerth ist, für manche Fälle nur diese, für andere nur jene zum Objective gelangen zu lassen, so müssen die Blendungen von zweierlei Art sein. Die einen müssen die Abhaltung der Randstrahlen, die anderen die der Achsen- oder Mittelstrahlen gestatten.

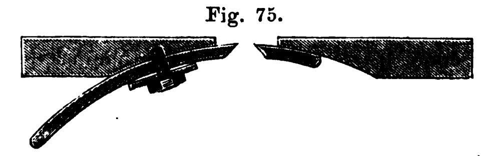
Die einfachste Blendungsvorrichtung besteht aus einer runden Metallscheibe (Fig. 74), welche sich um einen in ihrem Centrum gelegenen Stift dreht und eine Anzahl weiterer und engerer runder Oeffnungen enthält, die durch Umdrehung ersterer nach einander unter die Oeffnung des Objecttisches gebracht werden können. Soll dieselbe ihrem Zwecke möglichst vollkommen genügen, so muss sie sich entweder unmittelbar oder doch nur in kleiner Entfernung unter dem Objecttische befinden und eine nicht zu geringe Anzahl, sondern etwa 6 bis 8 Oeffnungen enthalten, die in einer solchen Entfernung von einander stehen, dass, wenn die eine derselben zur Seite gedreht wird, das Gesichtsfeld vollkommen verdunkelt erscheint, ehe die andere hervortritt. Solche Scheiben, welche mit einigen wenigen, etwa zwei bis vier Oeffnungen versehen sind und sich 20 bis 25 mm oder noch weiter unterhalb des Objecttisches befinden, entsprechen ihrem Zwecke an vollkommenen Instrumenten nicht und passen höchstens für kleinste Mikroskope. Die Wirkung der drehbaren Blendungsscheibe wurde durch die in Fig. 75

Fig. 74.



dargestellte gewölbte Form, welche Zeiss in Jena zuerst anwendete, bedeutend erhöht, indem dieselbe bei hinreichend starkem Objecttische möglichste Annäherung an das Object gestattet.

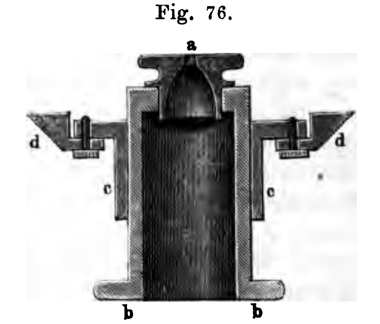
Fig. 75.



Weit zweckmässiger, wenn auch nicht so einfach und so billig herzustellen, wie die drehbare Blendungsscheibe, ist der bekannte, mittelst des unter dem Objecttische befindlichen Schlittens (oder einer anderen zweckentsprechenden Vorrichtung) bewegliche, zuerst von Oberhäuser angewendete, von ihm später bedeutend vervollkommnete (Fig. 76), in neuerer Zeit von Dr. Zeiss durch Centrirungsschrauben und senkrechte Bewegung mittelst Zahn und Trieb in höchst zweckentsprechender Weise abgeänderte Apparat für bewegliche Cylinderblendungen.

Mittelst dieser Blendungen kann man nicht nur den Grad der Beleuchtung, ausser durch Wechseln der Blendungen, durch Auf- und Abschieben derselben in den feinsten Abstufungen einwirken lassen, sondern auch zugleich den Einfluss der allmälig sich ändernden Beleuchtung auf das Bild des Gegenstandes ungestört verfolgen und die für ein bestimmtes Object passendste Lichtstärke ausmitteln, was für manche Fälle der Beobachtung von Wichtigkeit wird. Ferner können dieselben, was namentlich bei Anwendung von stärkeren, lichtschwächeren Vergrösserungen zur Beobachtung kleinerer Theile eines Objectes in Betracht kommt, unmittelbar unter den Objectträger gebracht werden, so dass der mittlere Theil des Sehfeldes hell erleuchtet ist, während der übrige Theil mässigeres Licht erhält und nicht dadurch störend einwirken kann, dass überflüssiges Licht in das Auge gelangt. Auch in Bezug auf das Auffinden sehr kleiner Gegenstände bei starken Objectivvergrösserungen gewähren dieselben eine nicht zu verkennende Bequemlichkeit. Man braucht jene nämlich nur unmittelbar auf die kleine Oeffnung zu legen, um sie dann ohne vieles Suchen und grossen Zeitverlust in das Sehfeld bringen zu können.

Fig. 76.

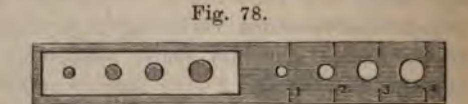


Für kleinere Instrumente möchte sich vielleicht eine vereinfachte Einrichtung empfehlen, bei welcher der die Blenden aufnehmende Cylinder in einer an dem Objecttische unter der Oeffnung angeschraubten, für schiefe Beleuchtung an der einen Seite geöffneten Hülse verschiebbar wäre.

Die zweite Art der Blendungen, welche in der Regel in Verbindung mit einer Beleuchtungslinse oder einem Beleuchtungssysteme verwendet werden und dazu bestimmt sind, die von der Mitte des Spiegels aus reflectirten Strahlen abzuschneiden, bestehen aus kleinen kreisförmigen Plättchen, welche aus einer undurchsichtigen, geschwärzten Masse verfertigt sind und einen Durchmesser von 1 bis 5 mm haben können. Dieselben werden zweckmässig zwischen Spiegel und Linse oder Linsensystem angebracht und entweder auf eine drehbare Glas- oder mit passenden Oeffnungen versehene Metallscheibe (Fig. 77) an die dünnen Speichen eines sich horizontal drehenden Rädchens, oder auch auf einem horizontal verschiebbaren Glasstreifen (Fig. 78) befestigt. Immer aber hat man

Fig. 77.

Fig. 78.



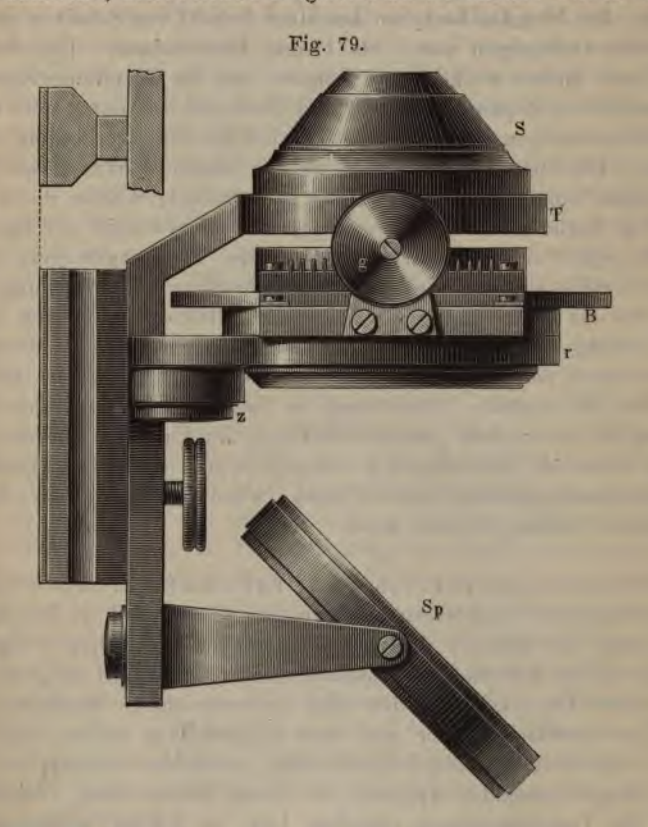
dafür zu sorgen, dass auf derselben Scheibe auch eine oder einige Oeffnungen für Centralstrahlen vorhanden sind, um nöthigenfalls auch diese sofort verwenden zu können.

Was Spiegel und Blendungsvorrichtung nicht in vollem Umfange zu leisten vermögen, d. h. die mit möglichster Sicherheit und Leichtigkeit und innerhalb möglichst weiter Grenzen zu regelnde Abstufung der Beleuchtung nach Art und Maass, das wird mit den möglichst einfachsten Mitteln und in der vortheilhaftesten Form mittelst Abbe's Beleuchtungsapparat erreicht, welcher mittelst weniger Handgriffe die Verwendung von Beleuchtungskegeln verschiedenster Divergenz, von beliebiger innerhalb seiner Oeffnung möglicher Neigung und wechselnder Einfallsrichtung gestattet und ausserdem noch eine mehrseitige, in dem weiteren Verfolge zu besprechende Verwendbarkeit besitzt. Derselbe hat denn auch schon eine weite Verbreitung und vielfache Nachahmung gefunden und sollte für jedes grössere Stativ eine wesentliche Zugabe bilden. Ich selbst bediene mich dessen schon seit einer langen Reihe von Jahren, sowohl in seiner ursprünglichen, als in seiner neueren Form und habe ihn bei fast ununterbrochenem Gebrauche nach allen Richtungen von solcher Annehmlichkeit und so vortheilhafter Wirkung gefunden, dass er mir unentbehrlich geworden ist.

Der Apparat wird in seiner neuen Form aus einem, unterhalb des Objecttisches in der aus der Abbildung des Zeiss'schen Statives V*a* im fünften Capitel ersichtlichen Weise einzusetzenden (also eventuell mit dem gewöhnlichen Doppelspiegel leicht zu wechselnden) Stücke gebildet und besteht aus Beleuchtungssystem, Blendenapparat und Doppelspiegel (Fig. 79).

Das für den gewöhnlichen wissenschaftlichen Gebrauch bestimmte Beleuchtungssystem *S* (es wird dem Träger *T* aufgeschraubt) besteht aus zwei unachromatischen Linsen in Form eines grossen Objectivsystemes mit dicker, mehr als halbkugeliger planconvexer Vorderlinse. Die ebene, nach oben gewendete Fläche der letzteren kommt, sobald der Träger bis zum Anschlage eingeschoben wird, fast in die Tischebene zu liegen und es kann der kleine, zwischen ihr und dem Objectträger bleibende Zwischenraum durch einen Tropfen Wasser ausgefüllt werden, sobald es darauf ankommt, Lichtverluste möglichst zu vermeiden. Die Brennweite

Fig. 79.



beträgt etwa 15 mm, der obere Brennpunkt befindet sich jedoch nur wenige Millimeter über der ebenen Fläche der Vorderlinse, so dass das betreffende Präparat nahe in denselben zu liegen kommt. Die numerische Apertur beträgt für den oberen Brennpunkt etwas über 1,15, oder etwa 120° Oeffnungswinkel in Wasser. Ein in einer wässerigen Flüssigkeit oder in Canadabalsam liegendes Object wird demnach, wenn der Zwischenraum unter dem Objectträger mit Wasser angefüllt ist, von Lichtstrahlen getroffen, welche um nahezu 60° beziehentlich 49° gegen

die optische Achse geneigt sind und demselben niemals aus einem Luftraume zugeführt werden könnten.

Der Doppelspiegel ist nur um einen festen Punkt in der Achse des Instrumentes allseitig beweglich.

Der Blendenapparat befindet sich zwischen Beleuchtungssystem und Spiegel und zwar nahe dem unteren Brennpunkte des ersteren, so dass sich die mittelst der verschiedenen Blenden aus der zugänglichen Lichtfläche ausgeschiedenen wirksamen Theile dem Objecte gegenüber verhalten wie sehr entfernte, aber entsprechend ausgedehnte leuchtende Flächen. Die Blenden bestehen aus einer Anzahl von Scheiben mit concentrischen Oeffnungen von 1 bis 12 mm Durchmesser. Um dieselben schnell und sicher wechseln zu können, ist der Blendungsträger *r* in einem seitlichen Zapfen *z* drehbar und lässt sich so unter dem Objecttisch hervorbewegen und wieder in die richtige centrale Stellung zurückschlagen. Die Blendungsscheiben *b* werden jedoch nicht in diesen Träger unmittelbar, sondern in eine Scheibe *B* eingelegt, welche durch einen unter dem Tische hervortretenden, mit geränderten Knopfe versehenen — zugleich zum Vor- und Zurückschlagen des Blendungsträgers dienenden — Griff *g* auf ihm dreh- und verschiebbar ist. Drehung dieses Griffes um die eigene Achse, verschiebt mittelst Zahn und Trieb, Scheibe und Blendung, deren centrische Stellung sich dem Finger durch Einspringen eines federnden Zahnes näher andeutet, in radialer Richtung und führt die centrale Beleuchtung in stetig wechselnde schiefe über, während die excentrisch gestellte Oeffnung im Umfange von etwa 120° um die Achse des Mikroskopes herumgeführt und damit das Azimuth der Lichtstrahlung geändert werden kann, wenn jener als Hebel für eine horizontale Drehung benutzt wird.

76 Beleuchtungsvorrichtung für auffallendes Licht. Bei schwächeren Vergrösserungen von 20- bis 100 mal im Durchmesser bedarf man bei unseren heutigen lichtstarken Mikroskopen eigentlich noch gar keiner künstlichen Beleuchtungsmittel, sondern es genügt das gewöhnliche Tageslicht. Sollen aber undurchsichtige Gegenstände bei einer über 100 fachen oder gar, was indessen nur höchst selten vorkommt, bei einer höheren Vergrösserung betrachtet werden, so bedarf es allerdings passender Apparate zu deren Beleuchtung. Als solcher genügt für Vergrösserungen zwischen 100- bis 200 mal vollkommen die jetzt fast allgemein gebräuchliche planconvexe Sammellinse, welche entweder, wie bei kleineren Instrumenten, mittelst eines über die den Tubus tragende Hülse zu schiebenden Ringes oder dergleichen an dem Mikroskope selbst oder, was vorzuziehen ist, auf einem eigenen schweren Fusse befestigt werden kann und dabei so eingerichtet sein muss, dass sie sich nach jeder Richtung wenden, unter jedem Winkel gegen die Achse des Mikroskopes neigen und in die für die intensivste Beleuchtung passende Entfernung von dem Objecte bringen lässt. Richtet man eine solche

Linse, deren lichte Oeffnung nicht zu klein sein darf, sondern mindestens 50 bis 120 mm betragen muss, gegen den Himmel, stellt das Mikroskop hinreichend weit von dem Fenster entfernt auf, so dass ein möglichst kleines und helles Lichtbild auf den Gegenstand geworfen werden kann, und trägt man endlich dafür Sorge, dass das Gesichtsfeld hinreichend verdunkelt ist, was am besten mittelst Unterlegen von matten, schwarzen undurchsichtigen Objectträgern geschieht, so wird man durch dieselbe eine vollkommen ausreichende Beleuchtung erzielen.

77 Vorrichtung für Dunkelfeldbeleuchtung. Unter gewissen Umständen können positive Bilder auf dunkelem Grunde einen entschiedenen Werth haben und sollte demgemäss das Mikroskop auch die erforderlichen Mittel bieten, um die zu deren Darstellung geeignete Lichtstrahlung herzustellen. Für schwache Objectivsysteme mit kleinem Oeffnungswinkel ist dieselbe mittelst Schiefstellung des Spiegels einigermaassen, aber immerhin in unvollkommener Weise herstellbar. Für stärkere Vergrösserungen ist diese Veranstaltung natürlich ganz und gar unbrauchbar und dies um so mehr, als, wie gesagt, schon bei schwächeren die Bilder an bedeutenden Mängeln leiden. Scharfe Bilder bei fast vollständig verdunkeltem Gesichtsfelde lassen sich dagegen bei schwachen wie bei stärkeren Vergrösserungen — es können diese bei hellem Tageslichte recht gut bis auf circa 500- und 600 fache steigen — mittelst des Abbe'schen Beleuchtungsapparates erzielen. Der betreffende Beleuchtungseffect tritt nämlich für Objectivsysteme, deren numerische Apertur nicht merklich über 0,35 (etwa 40^0 Oeffnungswinkel) hinausgeht, sofort in Thätigkeit, wenn statt der gewöhnlichen Blende ein schmaler Ring eingelegt wird, der mittelst dünner Speichen eine mittelpunktständige Scheibe von etwa 12 mm Durchmesser trägt, welche den mittleren Theil des Beleuchtungskegels unwirksam macht. Sollen Objectivsysteme von grösserer numerischer Apertur verwendet werden, so muss, um das Sehfeld dunkel zu erhalten, die Randzone ihrer Oeffnung durch passende, über der hinteren Linse des ersteren aufgeschraubte Blendungen (Zeiss giebt solche bei) in entsprechendem Maasse beschränkt werden.

Wo der grössere Beleuchtungsapparat fehlt, kann man den gleichen Zweck durch eine mit dem Cylinderblendenapparat zu verbindende fast halbkugelige Linse erreichen, deren Mitte mit einer entsprechenden Scheibe bedeckt wird.

II. Das Stativ.

78 Obwohl der Bau des Statives an Bedeutung hinter dem optischen Apparate zurücksteht, ist derselbe doch immerhin von nicht unerheblichem Einflusse auf die Gebrauchsfähigkeit eines Instrumentes,

verdient derselbe in seinen verschiedenen Theilen eine eingehende Betrachtung.

Fassen wir, unter dieser Voraussetzung der Tüchtigkeit zu möglichst allgemeinem und unbeschränktem Gebrauche bei mikroskopischen Untersuchungen in Thier- und Pflanzenanatomie, die Bestimmung des Statives ins Auge, so besteht dieselbe wesentlich in Folgendem. Es hat zunächst den optischen Apparat aufzunehmen und demselben eine, bei voller Unverrückbarkeit aus der Achse des ganzen Instrumentes, in vollem Umfange bis zum feinsten Grade zu modificirende Beweglichkeit zu ertheilen. Dann hat es den für die Beobachtung hergerichteten Gegenständen eine passende, genügend feste und für die verschiedenen etwa nothwendigen Manipulationen hinreichend Raum gewährende Unterlage zu bieten. Dem ersteren Zwecke dienen der Tubus sowie die Vorrichtungen zur Einstellung und zur Anbringung des Beleuchtungsapparates, dem letzteren der Objecttisch. Als Träger des Ganzen kommen dann noch Fuss und Säule hinzu.

Den an den Bau des Statives zu stellenden Anforderungen hat man von verschiedenen Seiten in verschiedener Weise und zwar einerseits durch einfachere, andererseits durch verwickeltere Einrichtung gerecht zu werden versucht. Für den täglichen wissenschaftlichen Gebrauch ist die einfache, niedere, recht handliche Form des Statives vorzuziehen, wie sie fast allgemein bei den continentalen Mikroskopen üblich ist.

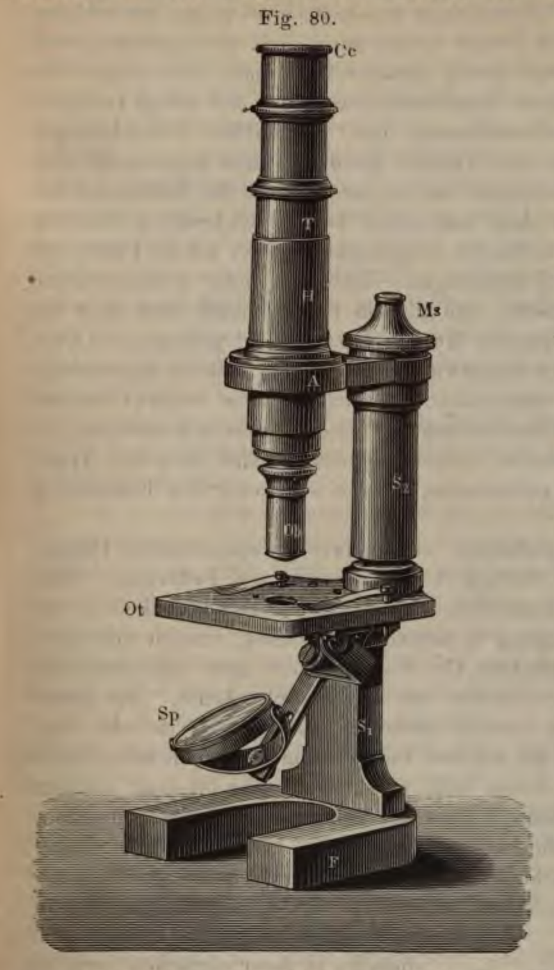
79 Fuss und Säule. Für den Fuss ist erste und unerlässliche Bedingung, dass derselbe dem Mikroskope eine hinreichend breite Grundfläche biete und so schwer sei, dass der Schwerpunkt des ganzen Instrumentes nicht allein hinreichend unterstützt, sondern auch zugleich möglichst tief nach unten gerückt wird, um dasselbe vor jedem zufälligen Umfallen genügend zu schützen. Dieses Ziel kann mittelst verschiedener Constructionen erreicht werden, die alle mehr oder minder ihrem Zwecke entsprechen.

Am zweckmässigsten finde ich den festen, aus einem einzigen Metallstück gearbeiteten Fuss, mag derselbe rund oder hufeisenförmig sein oder sonst eine Form besitzen. Derselbe bietet dem Stative nicht nur eine hinreichend grosse Unterstützungsfläche, sondern es wird durch sein ansehnliches Gewicht auch der Schwerpunkt des ganzen Instrumentes ziemlich tief nach unten verlegt, was selbst den kleineren Mikroskopen mit einem Fusse von geringeren Dimensionen hinreichende Festigkeit verleiht, so dass kaum irgend ein Unfall zu befürchten ist.

Mit dem Fusse steht unmittelbar der untere in der Regel cylindrische oder prismatische Theil der Säule S_1 in Verbindung, welcher den Beleuchtungsspiegel Sp, den Objecttisch Ot und den eigentlichen Körper, d. h. den oberen Theil der Säule S_2 mit der an einem Querstücke A bebefestigten Hülse H und Röhre T zur Aufnahme der Objective Ob und Oculare Oc trägt und an welchem auch meistens die Mittel zur Ein-

stellung, d. h. zur senkrechten Bewegung der Röhre gegen das Object angebracht sind. Hier nun sind so viele ihrem Zwecke fast gleich gut entsprechende Modificationen möglich und ausgeführt, dass wir uns ein weiteres Eingehen auf dieselben bis dahin ersparen müssen, wo von den Mikroskopen aus den verschiedenen optischen Werkstätten die Rede sein wird.

Fig. 80.



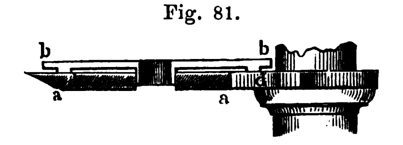
80 Der Objecttisch *Ot* ist einer der wichtigsten Theile des Statives, von dem namentlich die Bequemlichkeit bei der Benutzung des Instrumentes sehr abhängt. Es ist daher nothwendig, dass ihm bei dem Baue eines Mikroskopes die nöthige Aufmerksamkeit zugewendet wird. Vor Allem ist darauf zu sehen, dass der Objecttisch sich in einer Höhe über dem Arbeitstische befinde und eine Grösse erhalte, die es gestatten, alle während der Dauer einer Beobachtung nothwendigen Manipulationen mit Sicherheit und Bequemlichkeit auf ihm ausführen zu können und sich weder in der Grösse der Objectträger, noch in deren Bewegung nach allen Seiten hin im mindesten beschränken zu müssen. An vielen älteren und auch an manchen der kleinen neueren Instrumente ist derselbe offenbar zu klein oder doch zu schmal. Am zweckmässigsten ist wohl ein Durchmesser von 70 bis 100 mm nach Länge und Breite und darf man auch selbst bei den kleineren Instrumenten, ohne in der Anwendung grösserer Glasplatten zu sehr beschränkt zu werden, nicht gut unter ein Maass von 60 bis 70 mm herabgehen. Was seine Form anbelangt, so ist dieselbe im Ganzen ziemlich gleichgültig, doch möchte im Allgemeinen

die quadratische oder runde der rechteckigen vorzuziehen sein, weil eben diese Formen den grössten benutzbaren Raum gewähren.

Die Oberfläche des Objecttisches, welche zum Durchlassen des vom Spiegel kommenden Lichtes in der optischen Achse eine kreisförmige Oeffnung von mindestens 12 bis 15 mm besser aber — wegen der schiefen Beleuchtung — von 25 bis 30 mm haben muss, soll so beschaffen sein, dass von ihr aus möglichst wenig fremdes Licht nach dem Auge oder beim Gebrauche schwächerer Objectivsysteme in das Mikroskop reflectirt wird. Feststehende Federklammern und dergleichen Vorrichtungen sollten auf der Oberfläche des Tisches jedenfalls nicht angebracht sein. Man wird durch diese Beigaben nur in der Freiheit der Bewegung des Objectes gehindert, ohne dass man ihrer bei der senkrechten Stellung des Mikroskopes jemals bedürfte, ausgenommen etwa solche Fälle, wo man den Objectträger bei Messungen, Zählungen oder Demonstration möglichst zu fixiren wünscht. Zu diesem Zwecke sind dann aber am besten ein paar aus geeignetem Metalle hergestellte, genügend starke, bewegliche Federklammern zu verwenden, welche in passend angebrachte Löcher eingesteckt und nach dem Gebrauche wieder entfernt werden können. Bei geneigter oder horizontaler Stellung des Mikroskopes, die indessen nur als Ausnahmefall vorkommen dürfte, sind derartige Apparate allerdings unbedingt nothwendig, müssen aber auch ihre Entfernung gestatten.

Zu den Haupterfordernissen eines zweckentsprechenden Objecttisches gehört möglichste Festigkeit und Freiheit von Federung. Man muss daher vermeiden, demselben eine zu grosse Beweglichkeit zu ertheilen. Nur e i n e Bewegung in horizontaler Ebene, scheint mir nicht allein wünschenswerth, sondern für manche Fälle ganz unentbehrlich. Dies ist die Drehung des Tisches um die optische Achse. Sie bietet selbst bei Beobachtungen mittelst centraler Beleuchtung manche Vortheile und ist, wenn man bei schiefer Beleuchtung Licht von allen Seiten her auf das Object fallen lassen will, nicht allein sehr bequem, sondern kaum zu ersetzen, und deshalb auch fast von allen Optikern mindestens an ihren grösseren Instrumenten angebracht. Einfacher und billiger herzustellen, als die gedachte Einrichtung, wäre die von W e l k e r (Ueber Aufbewahrung mikroskopischer Objecte etc. 1856) empfohlene Objectdrehscheibe (Fig. 81), wenn sich dieselbe in ihrer einfachen Form so genau herstellen liesse, dass sie während der Umdrehung genau centrirt bliebe. Dies ist aber, wie ich mich an älteren Instrumenten von B e l t h l e wie an einem neueren kleinen Stative von P l ö s s l überzeugt habe, nicht in dem erforderlichen Grade zu erreichen, ohne dass besondere Vorrichtungen zum Centriren angebracht werden, wie sie bei den später zu beschreibenden Drehscheiben für Winkelmessung etc. verwendet werden.

Fig. 81.



Gegen die Beweglichkeit des Objecttisches in senkrechter Richtung, um dadurch die Einstellung des Objectes zu bewirken, glaube ich mich ohne allen Vorbehalt aussprechen zu müssen.

81 Die Mikroskopröhre (Tubus T), dazu bestimmt, die Haupttheile des optischen Apparates, Objectivsystem und Ocular aufzunehmen, erhält durch diese Bestimmung ihre Construction ziemlich genau vorgezeichnet. Da es, wie bereits bei Besprechung der allgemeinen Grundsätze gezeigt wurde, in Bezug auf die Grösse sowohl als auch auf die sonstigen Eigenschaften des mikroskopischen Bildes durchaus nicht gleichgültig ist, in welcher Entfernung sich bei bestimmten Constructionsformen Objectiv und Ocular von einander befinden, so wird hierdurch schon eine Grenze gezogen, über die man bei der Länge der Röhre weder hinaus noch hinabgehen darf, wenn man möglichst vollkommene Bilder erhalten will. Bei einer sehr kurzen Röhre müsste dem Ocular ein weit bedeutenderer Theil der Vergrösserung überlassen bleiben, als bei einer längeren. Da es aber, wie oben schon dargethan, immer am vortheilhaftesten ist, den Hauptfactor der Vergrösserung in das Objectivsystem zu verlegen, so ist im Allgemeinen und soweit es andere Rücksichten gestatten, eine gewisse Entfernung zwischen letzteren und dem Oculare, also eine nicht zu kurze Röhre vorzuziehen.

Da es nun zum Zwecke bequemerer Handhabung der sonstigen bei mikroskopischen Untersuchungen in Betracht kommenden Utensilien erwünscht ist, an einem Tische von gewöhnlicher Höhe zu arbeiten, so darf das Mikroskop nicht zu weit über die Fläche des letzteren emporragen. Eine Höhe von etwa 300 bis 360 mm, wie sie die continentalen Mikroskope bei ausgezogenem Rohre besitzen, ist in dieser Beziehung ganz entsprechend und bedingt eine Rohrlänge von 150 bis 180 mm.

Zur Abhaltung solcher Lichtstrahlen, welche von dem Objectivsysteme aus in schiefer Richtung auf die innere Röhrenwand gelangen, von da aus in das Ocular reflectirt werden und dadurch das mikroskopische Bild benachtheiligen könnten, ist es unumgänglich nothwendig, dass sowohl an dem unteren Theile als auch in der Mitte des Rohres passende Blendungen angebracht werden. Hierbei ist vor Allem darauf zu sehen, dass dieselben enge genug sind, um die falschen Lichtstrahlen abzuschneiden, dagegen nicht das unmittelbar ins Ocular gelangende Lichtbündel beschränken. Eine Schwärzung des Innern der Röhre ist bei gehörigen Blendungen gerade nicht unbedingt nothwendig, erscheint indessen doch, namentlich für den unteren Theil bis zur mittleren Blendung, zweckmässig.

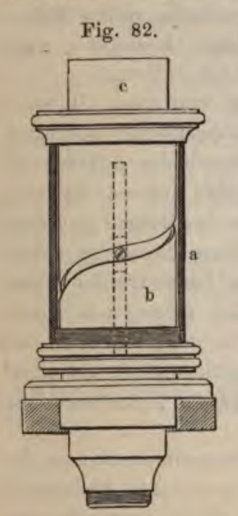
Die gegenwärtig vielfach schon vorhandene Zusammensetzung der Röhre aus zwei in einander verschiebbaren — nicht abschraubbaren — Stücken, von denen das innere eine Millimetertheilung eingeschnitten haben soll, möchte allgemein zu empfehlen sein. Zur Vornahme einer Anzahl von allgemein mikrographischen Operationen, auf welche wir

weiter unten zurückkommen werden, wie zur Bestimmung der Brennweite, der numerischen Apertur etc. ist diese Einrichtung ganz und gar unentbehrlich. Man ist aber auch dadurch, dass der Abstand zwischen Objectivsystem und Ocular in gewissen Grenzen beliebig geändert werden kann, im Stande, manche Vortheile zu erreichen, auf welche man bei einer massiven Röhre verzichten muss.

82 Einstellungsvorrichtungen. Gehen wir zu den Mitteln für die Einstellung der Objectivsysteme auf eine bestimmte Ebene über, so bleibt hierfür, da oben als Grundsatz festgestellt wurde, dass der Objecttisch feststehend sein solle, nur die Bewegung des Mikroskopkörpers, d. h. des Rohres übrig. Es fragt sich daher nur, in welchem Grade dieselbe ermöglicht sein muss und in welcher Weise sie ausgeführt werden soll. In ersterer Beziehung möchte wohl als allgemein gültig der Grundsatz aufzustellen sein, dass ein Mikroskop, welches zu der Mehrzahl der wissenschaftlichen Untersuchungen brauchbar sein soll, ausser einer schnell und in weiterem Umfange ausführbaren senkrechten Bewegung auch eine solche im feinsten Grade gestatten, also eine doppelte, sogenannte grobe und feine Einstellung haben muss.

Die einfachste Art der groben Einstellung besteht in der von den deutschen und französischen Optikern bei mittleren und kleinen Instrumenten fast allgemein angewendeten Verschiebbarkeit der Mikroskopröhre *T* in einer von dem Querstück *A* aufgenommenen federnden Hülse *H* (Fig. 80) mittelst freier Hand. Ist genau gearbeitet und gleiten ausserdem Flächen zweier verschiedener und geeigneter Metalle, etwa das in neuerer Zeit in Aufnahme gekommene Hartnickel und Messing aufeinander, so dass sich die Röhre in der hinreichend langen Hülse sanft, mit dem nöthigen Halt und doch ohne zu grosse Reibung verschieben lässt, so genügt dieselbe für die schwächeren Systeme vollständig und kann selbst bei mittleren Systemen und bei gehöriger Uebung noch zur feinen Einstellung benutzt werden.

Fig. 82.



Im Wesentlichen gleicher Art, wie die beschriebene einfachere, sind die in neuerer Zeit von Schmidt und Haensch, Plössl und Winkel angenommenen Vorrichtungen zur groben Einstellung, bei denen die Drehung des Tubus um die optische Achse vermieden, folglich eine feste Stellung desselben vollständig gewahrt ist.

Bei der groben Einstellung der erstgenannten Optiker (Fig. 82) befindet sich an der fest mit dem Querarm der Säule verbundenen Hülse eine zweite, durch crenelirten Ring drehbare, bei den mittleren Stativen durch einen äusseren

Mantel *a* verdeckte Hülse *b* umgelegt, in welcher ein schraubenförmig gewundener breiter Spalt eingeschnitten ist. In diesem läuft ein mit dem Rohre *c* fest verbundener Stahlzapfen, welcher zugleich in einem aus der festen Hülse ausgefraisten, senkrechten Spalte eine der optischen Achse gleichgerichtete Führung erhält, so dass sich das erstere nicht drehen kann. Bewegt man den crenelirten Ring vor- oder rückwärts, so senkt oder hebt sich das Rohr in genau axialer Richtung und in so stetigem und äusserst sanftem Gange, dass man für schwächere und mittlere Objectivsysteme die Einstellung ohne Benutzung der Mikrometerschraube ausführen kann.

Die Plössl'sche höchst einfache Hebelvorrichtung zeichnet sich durch sanften und sicheren Gang aus und eignet sich auch für grössere Stative.

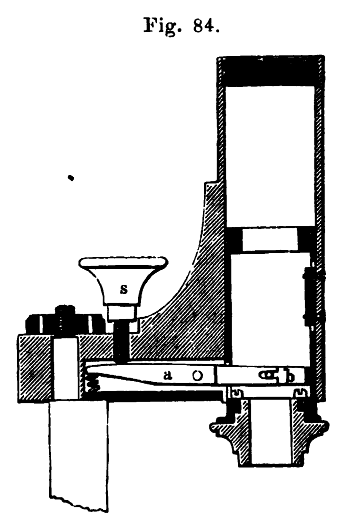
Die Einstellung durch Zahn und Trieb besteht aus der unmittelbar oder mittelst des Querarmes mit dem Rohre oder mit der Säule fest verbundenen in eine entsprechend geformte Führungscoulisse genau eingeschliffenen Zahnstange und dem in dem Querarme oder in der Säule mittelst grosser Schraubenköpfe drehbaren Triebe, welcher in die Zähne der ersten eingreift und dieselbe hebt und senkt. Diese Einstellungsvorrichtung verlangt, wenn sie vollkommen sein soll, sehr grosse Sorgfalt in ihrer mechanischen Ausführung. Namentlich muss die gezahnte Stange sehr gleichmässig geschnitten sein, ebenso der Trieb, damit er nicht nur sanft wirke, sondern auch bei gleicher Drehung des Knopfes immer gleiche Hebung hervorbringe. Die Hauptfehler: das Federn, der todte Gang und die Verrückung des Objectes aus dem Gesichtsfelde, mit deren einem oder dem anderen die Einstellung durch Zahnstange und Trieb noch hier und da behaftet gefunden wird, habe ich an den in meinem Gebrauche befindlichen grossen Stativen von Dr. Zeiss und Leitz nicht bemerkt und können dieselben offenbar durch genaue Arbeit und sorgfältige Behandlung des Instrumentes unmerklich gemacht werden.

Die feine Einstellung, obwohl für schwache und selbst für mittlere Vergrösserungen nicht unbedingt nothwendig, ist doch für die stärkeren Vergrösserungen und namentlich auch zur genauesten Durchforschung feinerer Structurverhältnisse, welche häufig die allerfeinsten Abänderungen in der Einstellung nothwendig machen, unentbehrlich und darf keinem zu wissenschaftlichem Gebrauche bestimmten Instrumente fehlen. Dieselbe wird durch eine Mikrometerschraube *ms* bewirkt. Sie sollte womöglich immer den Körper, nicht den Objecttisch bewegen, kann aber in verschiedener Weise ausgeführt werden. Auch bei ihr sind so ziemlich dieselben Fehler zu vermeiden wie bei der groben Einstellung; namentlich aber ist der letzte mit aller Sorgfalt fern zu halten. Derselbe macht sich wohl hier und da noch bemerklich, wenn nicht die einander entsprechenden Theile, Säule und Hohlcylinder, vollkommen gleichmässig gearbeitet und auf das Genaueste in einander geschliffen sind. Al-

zuverlässigsten hat sich mir die Construction gezeigt, wo sich, wie bei den Oberhäuser'schen und den ihnen nachgebildeten Stativen mittelst Schraube und Spannfeder über einer genau geschliffenen Rundsäule oder noch besser einem dreiseitigen Stahlprisma ein entsprechend ausgeschliffener Hohlcylinder bewegt, und es hat dieselbe mit ein oder der anderen unwesentlichen Abänderung fast allgemein Eingang gefunden. Auch die durch Gundlach eingeführte von Seibert beibehaltene und mehrseitig namentlich für kleinere Stative nachgeahmte feine Einstellung durch sogenannte Parallelogrammbewegung (Fig. 83) hat sich vielfach bewährt

Fig. 83.

Fig. 84.



und zeichnet sich, da die Reibung möglichst vermieden ist, durch stetigen Gang sowie leichte und sanfte Drehbarkeit der Schraube aus. Einige andere, den voranstehenden ähnlich wirkende feine Einstellvorrichtungen, sind in neuester Zeit in Amerika und England eingeführt worden und ist abzuwarten, in wie weit sie sich besser bewähren werden als jene.

Da die feine Einstellung nach den verschiedenen eben beschriebenen Constructionsformen immer das Gewicht des ganzen oberen Körpers zu tragen hat, so giebt man in England noch immer der feinen Einstellung durch die ältere Hebelvorrichtung den Vorzug und es ist dieselbe auch von Schmidt und Haensch für seine grossen Stative angenommen worden (Fig. 84). Dabei wirkt die in dem massiven Verbindungsstücke von Säule und Rohr eingefügte Mikrometerschraube *s* auf den mittelst einer kurzen Spannfeder nach oben getriebenen vorderen Arm des Hebels *a*, dessen zweiter Arm das Zwischenstück *b* hebt und senkt

welches mit einer im unteren Ende des Rohres gleitenden, das Objectivsystem tragenden kurzen Hülse verbunden ist. Es ist nicht zu leugnen, dass diese Einrichtung manche Vortheile gewährt, allein sie dürfte trotz alledem nicht zu empfehlen sein. Einmal ändert sich durch diese Art der Einstellung immer die Entfernung zwischen Objectivsystem und Ocular und somit die Tubuslänge und dies hat eine Aenderung in der Vergrösserung im Gefolge, welche im Allgemeinen wohl kaum ins Gewicht fallen würde, sich aber bei feineren mikroskopischen Messungen störend geltend macht. Dann ist diese Vorrichtung auch bei fester Ausführung auf die Dauer nicht in gutem Stande zu erhalten, weil der verhältnissmässig starke Angriff gegen die beweglichen Theile des Hebels beim Wechseln der Objective unvermeidlich schon bald ein Schlottern herbeiführen muss.

Die von französischen Mikroskopikern empfohlene feinste Einstellung mittelst des Oculares hat dieselben Unzuträglichkeiten, wie die zuletzt beschriebene und zwar in noch höherem Maasse. Ausserdem bietet sie noch weitere Unsicherheiten und Unbequemlichkeiten und kann ich dieselbe nicht zur Nachahmung empfehlen.

Die Neigung des Mikroskopkörpers ist für den gewöhnlichen Gebrauch eine gerade nicht nothwendige, wenn auch hier und da angenehme Zugabe.

Etwas anders liegt die Sache, wenn man die Frage der Zweckmässigkeit nach anderer Richtung hin erwägt. So ist z. B. die Einrichtung für manche allgemein mikrographische Arbeiten recht erwünscht. Andererseits erleichtert sie die solide und handliche Anpassung verschiedener unter dem Objecttische anzubringender Apparate und befördert deren raschen und bequemen Wechsel.

Viertes Capitel.

Das optische Vermögen des Mikroskopes und dessen Prüfung.

I. Die Einzelvermögen des optischen Gesammtvermögens und die Ermittelung ihrer Grundfactoren.

83 Das optische Gesammtvermögen und damit die Leistungsfähigkeit des zusammengesetzten Mikroskopes gliedert sich in drei Einzelvermögen, welche ihrerseits in bestimmten Grundfactoren der Construct

schen Apparates wurzeln, von denen sie nach Art und Maass bestimmt werden.

Diese Einzelvermögen geben sich zu erkennen als:

1. der Spielraum in der Bildausbreitung, Vergrösserungsvermögen, absolutes optisches Vermögen,
2. die geometrische Vollkommenheit der Strahlenvereinigung: Begrenzungs- oder Zeichnungsvermögen (Definition),
3. die Fähigkeit, kleine Objecte oder Structureinzelheiten oder deren Merkmale bis zu gewissen Grenzen der Kleinheit getreu zur Anschauung zu bringen: Abbildungsvermögen.

1. Vergrösserungsvermögen.

84 Die Vergrösserung bedingt das absolute optische Vermögen des Mikroskopes, insofern als sie die Fähigkeit seines optischen Apparates bemisst, das Bild mit den in ihm enthaltenen Structureinzelheiten auf einen Sehwinkel auszubreiten, welcher dem Auge die deutliche Unterscheidung möglich macht. Dieselbe ist, wie es die Formel

$$N = \left(\frac{X}{f_1}\right) \cdot \left(-\frac{\triangle}{f_2}\right)$$

zum Ausdruck bringt, für eine gegebene Sehweite bestimmt durch die beiden Brennweiten von Objectivsystem und Ocular, sowie durch die optische Tubuslänge und aus der Erklärung ihrer Function wird ersichtlich, dass eine bestimmte Höhe derselben nur dazu erforderlich wird, damit ein Auge von bestimmter Sehschärfe von den in dem Inhalte des Bildes dargebotenen Einzelheiten auch noch solche zu unterscheiden vermöge, welche unter sonst gleichen Bedingungen, aber bei geringerer Bildausbreitung nicht mehr, oder doch nicht deutlich unterschieden werden können. Das in Ziffern ausgedrückte Maass, bei welchem dieser Bedingung Genüge geleistet wird, kann man als die förderliche oder nutzbare Vergrösserung des zusammengetzten Mikroskopes bezeichnen und wie weit deren Grenzen gesteckt sind, geht aus den folgenden Betrachtungen hervor.

Die Vereinigung der von den einzelnen Objectpunkten ausgehenden, in das Objectivsystem eintretenden, das reelle „Luftbild" erzeugenden Strahlenbüschel kann, wie wir gesehen haben, niemals eine ganz vollkommene sein. Es treten somit an die Stelle von mathematischen Bildpunkten stets kleine Zerstreuungskreise, deren Grösse das Maass der einem Objectivsysteme überhaupt zugänglichen Structureinzelheiten bedingt.

Bleibt nun das Maass irgend welcher Structureinzelheit unter demjenigen Betrage, welcher dem auf das Ausmaass des Objectes zurück-

geführten angularen Durchmesser der Zerstreuungskreise entspricht, so kann eine deutliche Abbildung überhaupt nicht mehr stattfinden. Nun muss aber für Objectivsysteme der verschiedensten Brennweiten bei jedem bestimmten Oeffnungswinkel, unter Voraussetzung gleicher Vollkommenheit der Construction der angulare Durchmesser der Zerstreuungskreise in ihren Lupenbildern ein und derselbe sein und demgemäss die absolute Grösse der kleinsten Theile, welche noch abgebildet werden, ein und denselben Bruchtheil der Brennweite betragen. Daraus geht hervor, dass das Maass des kleinsten, durch das Objectivsystem noch abbildbaren Details eines Objectes unter obiger Voraussetzung im umgekehrten Verhältnisse zu dessen Brennweite steht, also das absolute optische Vermögen in demselben Maasse zunehmen muss, wie die Brennweite abnimmt.

Ferner wird, da nach dem Obigen der Sehwinkel, unter welchem in dem Lupenbilde die Zerstreuungskreise, also auch die kleinsten abbildbaren Objecttheilchen erscheinen, für alle Objectivsysteme von ähnlicher Construction (gleicher numerischer Apertur) und gleicher Vollkommenheit der Ausführung der gleiche ist, für solche Objective, welches auch ihre Brennweite sein möge, immer gleiche Angularvergrösserung — d. h. gleicher Werth von $\frac{\Delta}{f_2}$ — erforderlich sein, um jene kleinsten Theilchen unter irgend einem bestimmten, für bequeme Wahrnehmung ausreichenden Sehwinkel in dem schliesslichen virtuellen Bilde sichtbar zu machen. Die Gesammtvergrösserung, bei welcher dieses eintritt, wird also unter sonst gleichen Umständen zu der Brennweite des Objectivsystemes stets in umgekehrtem Verhältnisse stehen. Welches aber die erforderliche und ausreichende Angularvergrösserung und welches daraufhin die förderliche Gesammtvergrösserung für irgend eine bestimmte Brennweite sei, wird wesentlich abhängen: 1. von der Annahme, die man über die angulare Grösse der Zerstreuungskreise bei unseren heutigen Systemen macht, 2. von dem Sehwinkel, welchen man für die deutliche Wahrnehmung (beziehungsweise die Unterscheidung) der Theilchen eines mikroskopischen Bildes für zureichend hält. Wäre z. B. erstere für eine gewisse Classe von Objectivsystemen $= 1/4$ Bogenminute zu setzen, während ein Auge von normaler Sehweite einen Sehwinkel von 2 Bogenminuten zur deutlichen Wahrnehmung gebraucht, so würde 8 als diejenige Angularvergrösserung folgen, welche angewendet werden müsste, um die Leistung eines solchen Objectives zu erschöpfen.

In Bezug auf die angulare Grösse der Zerstreuungskreise lässt sich nun im Allgemeinen nicht viel mehr sagen, als dass sie 1. um so kleiner sein würde, je vollkommener ein Objectiv gearbeitet ist, 2. dass ihr Betrag mit zunehmender numerischer Apertur wachsen muss, 3. dass sie bei gleicher numerischer Apertur grösser sein wird für Trockensysteme als für Immersionssysteme, und für Wasserimmersion g
homogene Immersion, endlich 4. dass unter sonst gleic

Objectivsysteme von sehr kurzer Brennweite wegen der wachsenden technischen Schwierigkeiten der fehlerfreien Ausführung einen grösseren Werth zeigen werden, als solche von mittlerer und grosser Brennweite. Eine allgemein gültige Feststellung der Höhe der förderlichen Angularvergrösserung und damit der förderlichen Gesammtvergrösserung kann demnach nicht vollzogen werden. Allein die vorausgehende Betrachtung giebt immerhin ein Mittel an die Hand, eine annähernde Schätzung derselben herbeizuführen, indem man sich an vorhandene Objective hält, welche der heute erreichbaren Vollkommenheit in der Correction und technischen Ausführung entsprechen und durch unmittelbare Versuche ermittelt, mit welcher Ocularbrennweite f_2 bei gegebener Tubuslänge ein normales Auge alles überhaupt sichtbar zu machende Detail vollkommen deutlich wahrnimmt. Auf diese Weise findet sich, dass die Grenze der förderlichen Gesammtvergrösserung unter Voraussetzung der normalen Beleuchtungsweise mittelst gewöhnlichen Tages- oder entsprechend modificirten künstlichen Lichtes für schwache und mittlere Objectivsysteme erreicht und damit die Leistungsfähigkeit des Mikroskopes nach dieser Seite hin erschöpft ist, wenn Ocular und Tubus zusammen ein etwa achtfach vergrösserndes Fernrohr darstellen, also das Ocular bei der an dem continentalen Stative gebräuchlichen wirklichen Tubuslänge von 150 bis 170 mm eine Aequivalentbrennweite von etwa 20 mm besitzt. Bei stärkeren Trockensystemen von 2 mm Brennweite und darunter wird das maximale optische Vermögen schon bei einer fünffachen Angularvergrösserung, also bei einer Aequivalentbrennweite des Oculares von etwa 30 bis 35 mm, erreicht, während Wasserimmersion noch eine sechs- bis siebenfache, homogene Immersion eine acht- bis neunfache Angularvergrösserung möglich und damit Oculare von 26 bis 20 mm Brennweite verwendbar machen.

Wir ersehen hieraus, dass die Höhe der förderlichen Gesammtvergrösserung schon bei verhältnissmässig niederen Ziffern erreicht wird, welche ansehnlich hinter denjenigen zurückbleiben, die man hier und da angegeben findet. So beträgt dieselbe z. B. für Trockensysteme von 15 mm Brennweite etwa 130 bis 140, von 5 mm etwa 400, von 2 mm etwa 600 bis 700, für Wasserimmersion bei 3 mm Brennweite 500 bis 600, bei 1 mm 1500 bis 1700, für homogene Immersion bei 2 mm Brennweite und darunter 1000 bis 2000.

Damit soll indessen keineswegs gesagt sein, dass diese Zahlen überschreitende Vergrösserungen unter gewissen Umständen nicht noch *brauchbar* oder *nützlich* sein könnten, indem sie die betreffenden Structureinzelheiten bequemer zur Anschauung bringen. Die eigentliche Leistungsfähigkeit des Mikroskopes in Bezug auf das absolute optische Vermögen werden sie aber nicht erhöhen.

2. Begrenzungsvermögen.

85 Das Begrenzungsvermögen, d. h. die Zeichnung des mikroskopischen Bildes in vollem Umfange, also nach Reinheit, Schärfe und Färbung in seiner ganzen Ausdehnung beruht in demselben Elemente, welches auch das absolute optische Vermögen bedingt, d. h. in der geometrischen Vollkommenheit der Strahlenvereinigung in der Bildfläche und der damit Hand in Hand gehenden Beseitigung der bereits in Früherem besprochenen Abbildungsfehler. Wie bei der Betrachtung des zusammengesetzten Mikroskopes erörtert wurde, kommen diese Fehler vorzugsweise in dem Lupenbilde zum Ausdruck, haben also in der Construction des Objectivsystemes ihren Sitz, während der der Flächenausbreitung dienende Ocularapparat dabei praktisch fast so gut wie unbetheiligt erscheint. Die Vollkommenheit der Abbildung nach dieser Richtung hin wird demnach bedingt vorzugsweise durch den Grad, bis zu welchem sphärische und chromatische Abweichung der abbildenden Strahlenkegel in dem Objective gehoben und die Convergenzverhältnisse in den conjugirten aplanatischen Punkten der Achse gewahrt sind, dann aber auch durch die Genauigkeit der technischen Ausführung, namentlich in Bezug auf Fehlerlosigkeit des verwendeten Materiales, auf regelmässige Form und genaue Centrirung der brechenden Flächen.

86 Von hervorragender Bedeutung für die Bildzeichnung erscheint vor Allem die sphärische Abweichung, da eine in allen Fällen vollkommene Verschmelzung der Einzelbilder, aus welchen das mikroskopische Bild besteht, nur dann möglich wird, wenn das Objectiv für den ganzen Umfang seiner freien Oeffnung gleichmässig frei von sphärischer Abweichung ist. Ist diese Bedingung nicht erfüllt und noch ein ansehnlicher Rest von sphärischer Abweichung vorhanden, so können zwar die Einzelbilder noch scharf gezeichnet sein, da dieselben durchweg durch isolirte Strahlenkegel von verhältnissmässig kleinen, meist nur 30^0 bis 40^0 betragenden Divergenzwinkeln erzeugt werden, deren Spitzen noch scharf genug sind, um keinen sehr auffälligen Zerstreuungskreis übrig zu lassen. Dagegen werden dieselben sowohl längs wie seitlich gegen einander verschoben und gelangen zu keiner ausreichend vollkommenen Uebereinanderlagerung, weil bei grossem Oeffnungswinkel — von welchem die Entwickelung der feineren Structurmerkmale abhängig ist — die Spitzen der einzelnen, die verschiedenen Theile der freien Oeffnung gleichzeitig in Thätigkeit setzenden Strahlenbüschel nun nicht in einem Punkte zusammentreffen können. Die ein und derselben Stelle und ein und derselben Ebene des Objectes zugehörigen Structurmerkmale, Grenzen sowohl wie inneres Detail, erscheinen daher von einander getrennt waschen und unklar.

87 Die **Farbenerscheinungen**, welche bei Objectivsystemen von grossem Oeffnungswinkel auftreten und ihren Einfluss auf die Bildzeichnung geltend machen, beruhen nicht bloss in denjenigen Focusdifferenzen, welche die Strahlenkegel im Ganzen treffen, also in der eigentlichen chromatischen Aberration, sondern vielmehr noch in der unvermeidlichen Ungleichheit der Farbenvereinigung für verschieden geneigte Strahlenbüschel innerhalb der freien Objectivöffnung, welche wir als die chromatische Differenz der sphärischen Abweichung kennen gelernt haben, sowie in der als chromatische Differenz der Vergrösserung bezeichneten Farbenabweichung. Die erstere tritt je nach Art der Beleuchtung und Objectstructur in verschiedener Weise hervor. Objecte mit gröberen Structureinzelheiten können bei einem bestimmten Grade der Ausgleichung noch scharf gezeichnet erscheinen, während andere mit feinen Structurdetails eine entschiedene Verschlechterung des Bildes zeigen. Ebenso können Objective, welche für centrale Beleuchtung vollständig achromatisch sind, bei schiefer so starke Farbe geben, dass die Zeichnung eine höchst mangelhafte wird, und umgekehrt solche, welche für Auflösung von Diatomeenstreifungen bei schiefem Lichte glänzende Resultate gewähren, für histologische Beobachtungen fast völlig unbrauchbar sein. Die zweite Abweichungsform ist zwar auch schon für die centralen Strahlenkegel vorhanden, jedoch meist ganz unmerklich, sie wird dagegen für die Randzone ziemlich beträchtlich und macht sich bei schiefer Beleuchtung durch die breiten Farbensäume am Rande des Sehfeldes geltend.

Während die gewöhnlichen (primären und secundären) Farbenabweichungen bei sorgfältiger Construction sich entweder ganz heben, oder doch fast unmerklich machen lassen, sind die beiden anderen mittelst des heute zu Gebote stehenden Materiales nicht vollständig zu beseitigen. Man muss sich daher mit einer mittleren Ausgleichung in der Art begnügen, dass sich die betreffenden Abweichungen nicht in irgend einem Theile der freien Oeffnung häufen. Zu dem Ende wird der Punkt bester Achromasie weder in die Achse, noch in die Randzone, sondern in eine mittlere Zone der Oeffnung verlegt und das betreffende System für die centralen Strahlen **unter-**, für die äussersten schiefen Strahlen **übercorrigirt**.

Ausser der Verschlechterung des Bildes überhaupt wird auch bei den nicht ausreichend auf die Farbenabweichung corrigirten Objectivsystemen eine bald mehr, bald minder stark hervortretende **Färbung** des Sehfeldes und damit der Beobachtungsgegenstände hervorgerufen, welche in jener ihren Sitz hat und deren Uebergänge vom Lichtgrauen, Bläulichen bis zum Grünlichen und Gelben wechseln. Diese Färbung, welche neben den genannten auch von einigen anderen Ursachen, z. B. Färbung des Glases etc., herrühren kann, tritt namentlich dann in störender Weise hervor, wenn sie in Gelb übergeht, welche Farbe ich in verschiedenen Abstufungen, namentlich bei älteren, hier und da aber auch bei

neuen Systemen als am me sten vorkommend gefunden habe. Sie beeinflusst namentlich die Entscheidung über die Färbung der Objecte selbst und die Beurtheilung der Wirkung gewisser färbender Reagenzien auf diese und muss, wenn sie in bemerkbarer Stärke hervortritt, als ein Fehler betrachtet werden, der vermieden werden sollte.

Die Verbesserung der beiden Abweichungen erscheint nach dem Gesagten als ein höchst wichtiges Element für das Zeichnungsvermögen, d. h. für die Reinheit und Schärfe des Bildes.

Sind noch merkbare Reste derselben zurückgeblieben, so werden verschwommene Grenzen und mangelhafte Structurdetails, welche als Folge der fehlerhaften Uebereinanderlagerung der durch die einzelnen Lichtbüschel erzeugten Bilder auftreten, die unausbleibliche Folge sein.

88 Undeutlichkeiten in dem mikroskopisehem Bilde veranlassen ferner die ungleiche Vergrösserung durch verschiedene Theile der Objectivöffnung sowie die Störung der Ebenmässigkeit und Ebenflachigkeit. Die erstere, welche durch die Nichtbeachtung des Convergenzverhältnisses in zugeordneten aplanatischen Punkten in den verschiedenen Zonen der freien Oeffnung hervorgerufen wird, kann so bedeutende Zeichnungsfehler bedingen, dass schon ganz in der Nähe der Achse eine deutliche Abbildung völlig ausgeschlossen ist. Die andere, welche eine Verzerrung des Bildes herbeiführt, hat ihren Sitz, wie wir gesehen haben, vorzugsweise in Fehlern, welche in Bezug auf das Convergenzverhältniss in den orthoskopischen Punkten begangen werden und in Folge derer die Proportionalität in der Bildzeichnung verloren geht, während die die Ebenflächigkeit störende Wölbung des Sehfeldes, welche sich durch die Nothwendigkeit der Veränderung der Einstellung für verschiedene Zonen des letzteren bekundet, theilweise in der sphärischen Abweichung ausserhalb der Achse, vor Allem aber in der verschiedenen Vereinigungsweite der von den ausserhalb der Achse gelegenen Objectpunkten ausgehenden homofocalen Strahlenbüschel ihren Grund hat.

89 Diejenigen Undeutlichkeiten der Abbildung — von den absichtlich herbeigeführten Bildverschiebungen kann hier füglich abgesehen werden —, welche man passend als Unsymmetrie der optischen Wirkung bezeichnen kann, haben ihren Grund theils in der Beschaffenheit des zu den Linsen verwendeten Materiales, theils in der Unregelmässigkeit ihrer Form und in der ungenauen Centrirung der Einzellinsen sowohl als der Linsensysteme.

Diese Fehler treten zwar bei einigermaassen sorgfältiger Arbeit nie in sehr hohem Betrage auf, können aber immerhin recht störend auf die Bildschärfe wirken und sollten jedenfalls um so mehr thunlichst vermieden werden, als ihre Beseitigung selbst für stärkere Objectivsysteme im Bereiche der Möglichkeit liegt.

3. Abbildungsvermögen.

90 Die Begriffsbestimmung des „*Abbildungsvermögens*“ (das Unterscheidungs- und Auflösungsvermögen der Autoren mit einbegriffen), welches nach der sonst üblichen Auffassung als eine dem Mikroskope *schlechthin* und ganz *selbstverständlich* zukommende, mithin gar nicht weiter zu erörternde Fähigkeit betrachtet wurde, welche bei der als völlig ähnlich gedachten Wiedergabe der Objecte unter Umständen nur durch die in Folge der Unvollkommenheit der Strahlenvereinigung herbeigeführte Unterdrückung von Einzelheiten im Bilde eine Einschränkung erfahre, muss mit Bezug auf die Theorie der mikroskopischen Bilderzeugung jetzt anders gefasst werden als bisher, da es gemäss dieser als eine *bedingte*, verschiedengradiger Abstufung unterliegende und insofern *zahlenmässig* bestimmbare Eigenschaft des Instrumentes erscheint.

Unter „*Abbildungsvermögen*“ hat man jetzt zu verstehen:

Erstlich: — im engeren Sinne — die Fähigkeit des Mikroskopes, unter gewissen Umständen von den Objecten *genau ähnliche* Bilder zu entwerfen, welche — abgesehen von der Vergrösserung — als einfache Projectionen dieser Objecte erscheinen.

Zweitens: — im weiteren Sinne, sofern man dasselbe als eine *gradweise verschiedene*, möglicher Abstufung unterliegende Eigenschaft betrachtet — die Fähigkeit, bei der Abbildung gegebener Objecte eine *grössere* oder *geringere* Aehnlichkeit zu erreichen.

Im ersteren (strengen) Sinne besteht ein Abbildungsvermögen nur für solche Gegenstände, welche im Verhältnisse zu der Oeffnung der Objectivsysteme *genügend grosse* und zwar so *grosse* Ausmaasse darbieten, dass annähernd *alles* ihrem Beugungsspectrum entsprechende Licht in das Objectiv eintritt. Im anderen Sinne dagegen ist dasselbe für jedes Objectivsystem *in Bezug auf jedes Object* vorhanden, jedoch in verschiedenem *Grade* je nach der Grösse der Oeffnung, indem je nach dieser Oeffnung entweder vollständige Aehnlichkeit oder aber irgend ein bestimmter *Grad der Aehnlichkeit* bis zu kleineren oder grösseren Ausmaassen herab erreicht wird.

Als *Unterscheidungs-* oder *Auflösungsvermögen* ist nun diejenige *besondere* Form des Abbildungsvermögens zu kennzeichnen, in der dieses letztere bei *regelmässigen* Structuren (Streifungen, Felderungen u. dergl.) auftritt, welche regelmässige Beugungsspectren liefern, oder welche wenigstens *getrennte Theile* in gewisser einfacher Anordnung darbieten. Dasselbe bezieht sich — insofern man eine *gradweise* Abstufung oder eine *zahlen*mässige Bestimmung im Auge hat — nicht mehr auf die *volle* Bildähnlichkeit, sondern gleichsam nur auf den *ersten* (niedrigsten) Grad, die *eben beginnende* Bildähnlich-

keit, d. h. auf das blosse Sichtbarwerden der Structurgliederung (das blosse Getrenntscheinen der Theile), wenn auch in schematischer Form — in Gestalt von typischen Abbildern.

Das Abbildungsvermögen hat seinen Sitz einzig und allein in der Function der Oeffnung des Objectivsystemes und findet in ihr sein Maass, indem es unter allen Umständen in geradem Verhältnisse zu der numerischen Apertur steht.

In Rücksicht auf das allgemeine Abbildungsvermögen wird daher ein Mikroskop die objectähnliche Abbildung für kleiner und kleiner werdende Ausmaasse von einzelnen Objecten, wie von Structurelementen um so mehr begünstigen, je mehr das Objectivsystem im Stande ist, grössere Antheile gleich zusammengesetzter Beugungskegel aufzunehmen. Das Auflösungsvermögen dagegen bemisst sich nach der Fähigkeit des Objectivsystemes, neben dem directen Lichtbüschel noch **einen** der abgelenkten, dem mittleren Theile des Beugungskegels angehörigen Beugungsbüschel aufzunehmen.

Es ist nun leicht, aus dieser allgemeinen Beziehung durch Specialisirung derselben diejenige Grenze zu bestimmen, bis zu welcher dem Abbildungsvermögen für ein bestimmtes Objectivsystem und unter Voraussetzung einer bestimmten Wellenlänge und Beleuchtungsart die Wiedergabe von gewissen regelmässigen Structurverhältnissen, wie z. B. Streifungen, Schichtungen, Felderzeichnungen etc., sowie von vereinzelten kleinen Körperchen und Structurelementen, Fasern, kleinen Inhaltskörperchen oder Zellen u. dergl. in Form von objectähnlichen oder von typischen Bildern möglich erscheint, oder auch diejenige numerische Apertur zu ermitteln, welche zur Sichtbarmachung der Structuranzeichen wie zur objectähnlichen Abbildung gefordert wird.

91 Wenden wir uns zunächst zu der Unterscheidungsgrenze, so ist für einfache Streifensysteme, oder solche Structureinzelheiten, welche sich in Gestalt solcher Streifensysteme ordnen lassen (die Zeichnung auf den Schalen der Diatomeen z. B.), zu deren typischen Abbildung in ihren ersten Anzeichen neben dem Eintritte des directen Lichtbüschels nur noch der von einem Beugungsbüschel, d. h. in dem in der hinteren Brennebene des Objectives auftretenden Beugungsbilde nur das Vorhandensein von einem Beugungsspectrum neben dem directen Bilde der Lichtquelle, erfordert wird, unter der Voraussetzung eines sehr engen Beleuchtungskegels, diese Grenze sowie die von einer vorliegenden Streifendistanz geforderte numerische Apertur in einfacher Weise bestimmbar. Der kleinste zulässige Streifenabstand bei gegebene[illegible] nung ergiebt sich für centrale Beleuchtung: als Quotient d[illegible]

länge durch die numerische Apertur, für möglichst schiefe Beleuchtung: als Quotient der halben Wellenlänge durch diese Apertur. Die kleinste numerische Apertur für einen gegebenen Streifenabstand andererseits wird ausgedrückt durch den Quotienten aus der ganzen oder der halben Wellenlänge durch den Streifenabstand, je nachdem rein centrale oder möglichst schiefe Beleuchtung zur Anwendung kommt.

Beide finden demgemäss, wenn λ die Wellenlänge für eine bestimmte Farbe in Luft, e die Streifendistanz bezeichnet, ihren Zahlenausdruck in den Gleichungen:

$$1) \quad e = \frac{\lambda}{a} \quad \text{und} \quad a = \frac{\lambda}{e}$$

$$2) \quad e = \frac{\lambda}{2a} \quad \text{und} \quad a = \frac{\lambda}{2e}$$

Wenn statt eines sehr engen, der optischen Achse parallelen Strahlenkegels ein solcher verwendet wird, dessen äusserste Strahlen eine gewisse, durch den Winkel w ausgedrückte Neigung gegen die optische Achse besitzen, was immer eintritt, wenn bei dem gewöhnlichen Gebrauche des Mikroskopes mit sogenanntem geradem Lichte gearbeitet wird, wobei stets ein einfallender Lichtkegel von mehr oder minder grosser Grundfläche zur Anwendung kommt, dessen Winkelöffnung unter Umständen, z. B. bei Verwendung des Hohlspiegels, 40 bis 50^0 betragen kann, so geht die erste der obigen Gleichungen für den Fall, dass w kleiner ist, als der halbe Oeffnungswinkel des Objectivsystemes, über in:

$$e = \frac{\lambda}{a + n \,.\, \sin w}$$

oder, wenn wir $n \,.\, \sin w$ mit α bezeichnen, in:

$$e = \frac{\lambda}{a + \alpha}$$

als Ausdruck für den kleinsten Linienabstand, welcher bei der angenommenen Beleuchtungsweise der numerischen Apertur a zugänglich ist und die Umkehrung dieser Gleichung

$$a = \frac{\lambda}{e} - \alpha$$

bestimmt die kleinste numerische Apertur, bei der ein Streifensystem von gegebenem Linienabstande e unter den gedachten Verhältnissen sichtbar wird.

Wird w ebenso gross oder grösser als der halbe Oeffnungswinkel, wie es bei Objectivsystemen von langer Brennweite und geringer numerischer Apertur meistens, bei Verwendung des vollen Lichtkegels, welchen der Abbe'sche Beleuchtungsapparat gewährt, immer der Fall ist, so ist die Grenze der Auflösung bei sogenanntem geraden Lichte soweit hinausgerückt, wie bei äusserst schiefer Beleuchtung.

In Bezug auf solche Structurverhältnisse, welche als Grundform unter bestimmten Winkeln sich kreuzende Streifensysteme ergeben, ändern sich die oben gegebenen Grenzbestimmungen, da für deren Abbildung neben dem Eintritte des directen Lichtbüschels auch noch der von mindestens zwei nicht zu derselben Reihenordnung gehörigen abgebeugten Strahlenbüscheln, also in dem Beugungsbilde in der hinteren Brennebene das Auftreten von mindestens drei nicht in einer geraden Linie liegenden Spectren erforderlich wird.

Für zwei gleich weit von einander entfernte, sich unter einem Winkel von 60° schneidende Streifensysteme, wie bei der scheinbaren Streifung von Pleurosigma angulatum, geht die obige Gleichung für a über in:

$$a = \frac{\lambda}{2e \,.\, \sin i} \text{ und da } \sin i = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{3} \text{ in } a = \frac{\lambda}{e \,.\, \sqrt{3}}$$

für ein quadratisches Netzwerk dagegen in $a = \frac{\lambda}{e \,.\, \sqrt{2}}$

Die numerische Apertur, welche für die Lösung eines derartigen Structurverhältnisses erfordert wird, ist also im ersten Falle in dem Verhältnisse von $\sqrt{3} : 2$, im anderen von $\sqrt{2} : 2$ grösser als diejenige, welche für das eine Liniensystem allein genügt.

Die in dem Vorausgehenden ermittelten Grenzwerthe sind bei der praktischen Prüfung des Unterscheidungsvermögens nur dann erreichbar, wenn sie — vollkommene Correction der sphärischen und chromatischen Abweichung vorausgesetzt — unter Anwendung sehr intensiven monochromatischen Lichtes und sehr enger Strahlenkegel ausgeführt werden. Unter den gewöhnlichen Beleuchtungsverhältnissen werden die erlangten Resultate unter Umständen mehr oder weniger hinter den berechneten zurückbleiben.

Verwendet man indessen, da die Sichtbarkeit einer feinen Structur bei Beleuchtung mittelst gewöhnlichen Tageslichtes, also unter sonst gleichen Umständen, vorzugsweise auch von der schärfer ausgesprochenen natürlichen Zeichnung derselben abhängt, scharf ausgeprägte Zeichnung besitzende Probeobjecte, wie sie sich unter den Diatomeen in reicher Auswahl finden und berechnet man die Grenze des Unterscheidungsvermögens unter Zugrundelegung der Wellenlänge des hellen Grüns zwischen den Fraunhofer'schen Linien D und E, welche etwa 0,00055 mm oder 0,55 μ beträgt, so darf man, wie ich mich durch vielfache Versuche überzeugt habe, sicher sein, dass die theoretisch berechneten Werthe und die Beobachtungsresultate in voller Uebereinstimmung mit einander bleiben.

Ein weiterer wichtiger Umstand, welcher auf die Erreichung der theoretischen Unterscheidungsgrenze seinen Einfluss äussert, besteht in der Art des Einschlusses der betreffenden Objecte und es ist keineswegs

gleichgültig, von welchem Medium dieselben umgeben sind. Von Luft eingehüllte Objecte geben nur für Trockensysteme, deren numerische Apertur stets unter 1,0 bleibt, verlässliche Resultate. Bei Immersionssystemen jeder Art mit einer numerischen Apertur über 1,0 wird letztere dagegen, wie aus der Betrachtung auf S. 38 u. f. hervorgeht, wenn sich eine sehr dünne Luftschicht zwischen Object und Deckglas befindet, immer auf 1,0 oder vielmehr auf wenig unter 1,0 herabgedrückt. Die Grenze des Auflösungsvermögens von Immersionssystemen mit möglichst grosser numerischer Apertur — z. B. von solchen für homogene Immersion — erreicht unter derartigen Umständen stets nur die einfache Wellenlänge bei centraler, die halbe Wellenlänge bei äusserst schiefer Beleuchtung, da alle über 90⁰ abgelenkten Beugungsbüschel keinen Zutritt finden. Eine etwas weiter gehende Unterscheidungsgrenze tritt aber immer dann auf, wenn trocken eingelegte Objecte mit dem Deckglase in unmittelbarer Berührung (an dasselbe festgeklebt oder angeschmolzen) sind, und ein Immersionssystem wirkt in diesem Falle so, als ob seine numerische Apertur $= \frac{a+1}{2}$, d. h. der Hälfte seiner um die Einheit vermehrten wirklichen numerischen Apertur gleich wäre.

Daraus erklären sich denn auch alle die verschiedenen Resultate, welche verschiedene Beobachter mittelst Immersionssystemen an den schwierigeren, trocken eingelegten Probeobjecten (Frustulia saxonica, Surirella gemma etc.) und deren sogenannten „guten“ und „schlechten“ (d. h. an das Deckglas angeschmolzenen oder von dem Deckglase durch eine dünne Luftschicht getrennten) Exemplaren erlangt haben.

Soll ein Immersionssystem seine volle auflösende Kraft entfalten, so muss dasselbe — alle anderen Umstände als gleich vorausgesetzt — auf Objecte angewendet werden, welche von einem Medium eingeschlossen sind, dessen Brechungsindex der numerischen Apertur mindestens gleichkommt oder dieselbe übertrifft. Die Objectivsysteme für Wasserimmersion wie für homogene Immersion bis zu 1,33 numerischer Apertur entfalten daher nach dieser Seite hin — und von anderen, später zu erörternden Umständen abgesehen — ihr volles optisches Vermögen schon an allen Präparaten, welche in die gewöhnlich gebräuchlichen Zusatzflüssigkeiten und Aufbewahrungsmittel: Wasser, Chlorcalcium, Glycerin, Canadabalsam u. dergl., eingeschlossen sind.

92 Hinsichtlich vereinzelter Körperchen irgend welcher Art: Fasern, Inhaltskörperchen der Zelle, Keimzellen der niedersten Organismen etc., ist die Wirkungsweise des Mikroskopes derjenigen des Fernrohres bei Beobachtung von Fixsternen zu vergleichen. Derartige Gegenstände werden durch das Mikroskop immer abgebildet, selbst wenn ihre Durchmesser hinter dem zehnten Theile der Wellenlänge zurückbleiben sollten. Ihre Sichtbarkeit hängt nicht sowohl von allgemeinen optischen Bedingungen, als von dem Lichtcontraste, welchen das Object in dem Sehfelde

herbeiführt, sowie von dem Grade der Verbesserung der Aberrationen und besonders von der grösseren oder geringeren Empfänglichkeit der Retina des beobachtenden Auges für schwache Schatteneffecte ab. In allen diesen Fällen äussert sich die Wirkung der Oeffnung in einer ganz anderen Richtung, wie bei zusammengesetzten Structuren. Durchmesser und Gestalt des Bildes werden, sobald die Grösse des Objectes unter ein ansehnliches Vielfaches der Wellenlänge hinabgeht, nicht vollständig durch Durchmesser und Gestalt des letzteren bestimmt, sondern hängen von der numerischen Apertur und der Wellenlänge ab. Die unvollständige Aufnahme der Beugungsbüschel, welche von derartigen Objecten erzeugt werden und eine ununterbrochene und nahezu einförmige Zerstreuung des gebeugten Lichtes über die ganze Halbkugel vorstellen, wirkt immer so, dass dadurch der scheinbare Durchmesser des Objectes, und zwar im Verhältnisse der mehr oder minder unvollständigen Aufnahme, vergrössert wird. Diese Vergrösserung erscheint stärker bei kleiner als bei grosser numerischer Apertur und demgemäss ist der scheinbare Durchmesser aller sichtbaren isolirten mikroskopischen Objecte für jede bestimmte numerische Apertur einem kleinsten Werthe unterworfen, welcher durch die Gleichung

$$\frac{\lambda}{2a}$$

annähernd gegeben ist.

Fasern oder Inhaltskörperchen (z. B. solcher in den Speichelkörperchen) von beliebigem unter ein grösseres Vielfaches der Wellenlänge herabgehenden Durchmesser werden, sobald sie überhaupt gesehen werden können, gesehen als Fäden oder Körperchen von einem Durchmesser von nicht weniger als 0,4 λ mit einem Objectivsysteme von 1,25 numerischer Apertur und von nicht weniger als 0,5 λ mit einem solchen von 1,0 numerischer Apertur.

Diese Thatsache schliesst die weitere ein, dass ganz oder nahezu isodiametrische Körperchen von beliebiger Gestalt immer als nahezu kreisförmige Scheibchen von einem Durchmesser $= \frac{\lambda}{2a}$ gesehen werden, sobald ihr wirklicher Durchmesser nach jeder Richtung erheblich kleiner als $\frac{\lambda}{2a}$ ist. Und dieses Verhalten tritt ausnahmslos ein, mögen die in Frage kommenden Objecte als helle Körperchen auf dunklem oder weniger durchsichtigem Hintergrunde oder als dunkle Körperchen in hellem Gesichtsfelde erscheinen.

93 Die Fähigkeit des Mikroskopes, eine objectähnliche Abbildung regelmässig oder unregelmässig angeordneter Structureinzelheiten hervorzurufen, steht in geradem Verhältnisse zu der numerischen Apertur. Je grösser die letztere ist, desto feinere Structureinzelheiten werden noch ganz oder nahezu objectähnlich abgebildet. Dieser Schluss ergiebt sich,

wenn man die früher dargelegten Sätze über den Abstand der Beugungsspectren im Verhältnisse zu dem linearen Abstande der betreffenden Structurelemente, wie über die Ausdehnung des Oeffnungsbildes in der hinteren Brennebene des Objectivsystemes, d. h. der Austrittspupille des letzteren, in Betracht zieht. Nach diesen Sätzen stehen nämlich die ersteren Abstände in umgekehrtem Verhältnisse zu denen der betreffenden Structureinzelheiten des Objectes, während der lineare Durchmesser des Oeffnungsbildes, also die Ausdehnung des bei der Abbildung wirksamen Beugungsspectrums der numerischen Apertur direct proportional ist.

Betrachten wir zur Erläuterung wieder die Abbildung einer regelmässigen Streifung, deren Beugungsspectrum aus einer Reihe gleichweit entfernter isolirter Einzelspectren mit allmälig abnehmender Helligkeit besteht, so wird die Streifung schon „aufgelöst", sobald nur eines der Seitenspectren, d. h. ein abgebeugter Strahl neben dem directen Strahle in das Objectiv eintritt, aber das Bild zeigt nur die typische oder schematische Form derselben, nämlich abwechselnd helle und dunkle Striche von annähernd gleicher Breite, ohne deren individuellen Charakter irgendwie zum Ausdrucke zu bringen. Dieser individuelle Charakter, also das richtige Verhältniss der Breite der hellen und dunklen Zwischenräume und die wahre Form der Umrisse, kommt im Bilde erst mehr zum Vorschein, wenn eine grössere Anzahl der beiderseits abgelenkten Beugungsbüschel in das Objectiv eintritt und ganz vollständig erst, wenn kein Büschel von noch merklicher Lichtstärke verloren geht. Wegen der mehr und mehr abnehmenden Lichtstärke der abgelenkten Strahlen wird aber die vollständige Aehnlichkeit zwischen Bild und Object praktisch schon erreicht werden, wenn nur eine gewisse, mässige Anzahl von Beugungsbüscheln — m auf jeder Seite des abgebeugten Strahles — Zutritt zum Objectiv erlangt. Ist nun wieder a die numerische Apertur des Objectives und e der Streifenabstand, so ist die Bedingung für den Eintritt der m ersten Beugungsbüschel bei centralem Einfalle des directen Lichtes gegeben in der Gleichung

$$m \cdot \frac{\lambda}{e} = a \quad \text{oder} \quad e = m \cdot \frac{\lambda}{a}$$

woraus folgt, dass je grösser a ist, desto kleiner e sein darf — und je kleiner a, desto grösser e bleiben muss — wenn keine andere Beugungsbüschel denn solche von höherer als $m$ter Ordnung verloren gehen sollen. Irgend ein bestimmter Grad der Vollständigkeit des Bildes, oder der Aehnlichkeit mit dem Objecte, wird also für um so kleinere Maassverhältnisse erreicht, je grösser die numerische Apertur, und erfordert um so grössere Maassverhältnisse, je kleiner die numerische Apertur.

Derselbe Schluss muss auch für Structuren von ganz beliebiger Zusammensetzung gelten, sofern nur immer ähnliche Structuren unter

sich verglichen werden. Denn solche geben immer ähnliche (nur im Maassstabe verschiedene) Lichtvertheilung im Beugungsspectrum in der Austrittspupille des Objectivsystemes. Je kleiner die Ausmaasse der Objectstructur, desto grösser muss also die numerische Apertur des Objectives sein, damit stets derselbe Theil des gesammten Beugungsspectrums Zutritt erhalte, oder derselbe Grad von Aehnlichkeit zwischen Object und Bild erreicht werde — wie sehr auch die Lichtvertheilung in dem Beugungsspectrum von derjenigen verschieden sein mag, welche bei einer einfachen Streifung auftritt.

Aus den voranstehenden Erörterungen geht zunächst hervor, welche Bedeutung Begriffsbestimmung und Zahlenwerth der numerischen Apertur gewinnen, wenn es sich um die Vergleichung der Objectivsysteme verschiedener Art nach ihrer, von der freien Oeffnung abhängenden optischen Leistung handelt. 94

Der Zahlenwerth für a ist nämlich ein absolutes Maass im strengsten Sinne der Messkunde, indem er in der That die Menge der von dem Objecte ausgehenden Strahlen misst, welche ein beliebiges Objectivsystem aufzunehmen vermag und so die wirklich wirksame Oeffnung der verschiedensten Objectivsysteme ohne Rücksicht auf wechselnde und zufällige Elemente (wie z. B. den Brechungsindex des betreffenden Mediums) bestimmt und sie mit einer natürlichen Normaleinheit in Vergleich setzt. Diese Einheit ist der Ausdruck für die Fähigkeit eines Objectivsystemes, die sämmtlichen, von der ganzen Halbkugel umfassten Strahlen aufzunehmen, welche von einem leuchtenden Punkte in einem Medium von dem Brechungsindex = 1,00 ausgehen. Sie wird dargestellt durch ein Objectivsystem, für welches

$$n \,.\, \sin u = 1$$

ist, z. B. durch ein Trockensystem, dessen Oeffnungswinkel genau 180° betragen würde und kann in dieser Form immer verwirklicht werden durch irgend ein Immersionssystem, dessen numerische Apertur die Einheit überschreitet, wenn man dasselbe mit einem trocken eingelegten, das Deckglas fast berührenden Objecte verwendet, so dass es in ein Trockensystem umgewandelt wird, dessen untere Planfläche jetzt das Deckglas vorstellt, während bei dem äusserst geringen Abstande des letzteren von dem Objecte auch noch die Strahlen von äusserster Schiefe, d. h. von etwa 88° bis 89° Neigung, Zulassung finden. Von dieser Einheit kann irgend ein Theil durch ein Trockensystem, ein Vielfaches aber nur durch ein Immersionssystem repräsentirt werden. So z. B. würde ein Trockensystem von 60° (sin = 0,5) die Hälfte, ein System für homogene Immersion mit dem entsprechenden Oeffnungswinkel von 120° etwa $^4/_3$ der Einheit gleichkommen.

Mittelst dieses Zahlenausdruckes für die numerische Apertur allein können Objectivsysteme verschiedener Art: Trockensysteme und Immer-

sionssysteme in Bezug auf ihre von der Oeffnung abhängigen Leistungen mit einander verglichen werden. Denn es führt unser a sofort die quantitative Beziehung vor Augen, welche zwischen Lichtkegeln, die innerhalb verschiedener Medien mit verschieden grossen oder gleichen Divergenzwinkeln strahlen, also auch zwischen verschieden grossen, wie zwischen gleichen Oeffnungswinkeln in eben solchen verschiedenen Medien bestehen.

Es führt uns dieser Werth namentlich auch vor Augen, dass für ein und denselben Oeffnungswinkel die numerische Apertur a für ein dichteres Medium einen grösseren Werth haben muss, als für ein weniger dichtes Medium. Vergleichen wir z. B. die Oeffnungswinkel von 100° in verdicktem Cedernholzöl und in Wasser einmal unter sich, dann mit einem solchen von 100° in Luft, so entspricht der erstere einer um $\frac{1,52}{1,33} = 1,14$ mal grösseren numerischen Apertur als der zweite, der erstere und der zweite einer um je 1,52 mal und 1,33 mal grösseren numerischen Apertur als der letzte, so dass sich, da der Sinus des halben Oeffnungswinkels $= 0,76$ ist, als Werthe des a ergeben würden: für das Trockensystem 0,76, für die Wasserimmersion 1,02, für homogene Immersion 1,16. Setzen wir ferner den Oeffnungswinkel in Luft $= 2 \times 90^0$, d. i. $= 180^0$, also gleich dem ideellen Maximum, über welches derselbe in keinem Medium hinausgehen kann, so erhalten wir als Aequivalent für diesen Oeffnungswinkel in Wasser ($n = 1,33$) oder verdicktem Cedernholzöl ($n = 1,52$) die kleineren Oeffnungswinkel von beziehentlich 96° und 82° und es ist leicht einzusehen, dass diese Winkel in ihren betreffenden Medien noch bis zur Erreichung des ideellen Maximums, also weit über das Maass hinaus vergrössert werden können, welches dem Oeffnungswinkel von 180° in Luft entspricht. Damit ist aber gesagt, dass ein Immersionssystem irgend welcher Art eine über die Einheit hinausgehende numerische Apertur haben kann und auch wirklich hat, sobald sein Oeffnungswinkel über den Winkel der Totalreflexion zwischen dem betreffenden Medium und Luft hinausgeht und es erklärt sich das Uebergewicht der Immersionssysteme, welches dieselbe den Trockensystemen gegenüber behaupten, sobald es sich um Leistungen handelt, welche von der Oeffnung abhängen. Der Ueberschuss über die Einheit der numerischen Apertur bezeichnet hier die Fähigkeit eines Objectivsystemes in gleichem Verhältnisse nicht nur mehr, sondern auch qualitativ neue von dem Objecte ausgehende Strahlen aufzunehmen.

Nächst der Klärung dieser Verhältnisse giebt aber auch der Werth a den Schlüssel an die Hand für die Lösung zweier anderer wichtiger Fragen.

In dem hier gewonnenen Resultate findet zunächst die Frage, wie weit bei den gegenwärtig zu Gebote stehenden Mitteln die Grenze des Unterscheidungsvermögens unserer Mikroskope hinausgerückt werden kann, ihre Erledigung. Setzen wir normale Beleuchtung mittelst hellen

Tageslichtes voraus, dessen Wellenlänge, wie wir gesehen haben, 0,55 μ gleichgesetzt werden kann, so ergeben sich als äusserste Grenze der Unterscheidungskraft für ideelle Systeme der verschiedenen Gattungen (Trockensysteme, Wasserimmersion und homogene Immersion) mit numerischen Aperturen von beziehentlich 1,0, 1,3 und 1,5

$$e = \frac{0{,}55}{2} = 0{,}27\ \mu,\ e = \frac{0{,}55}{2{,}66} = 0{,}20\ \mu,\ e = \frac{0{,}55}{3} = 0{,}18\ \mu$$

Nun können aber in Wirklichkeit die ideellen numerischen Aperturen nicht erreicht werden und etwas über neun Zehntel des theoretischen Maximums, eine numerische Apertur von etwa 1,25 bei der Wasserimmersion, von 1,40 bei der homogenen Immersion wird ungefähr das Aeusserste sein, was die Technik ohne Beeinträchtigung der übrigen unerlässlichen Eigenschaften — und sicher nur bei Objectivsystemen von verhältnissmässig grosser Brennweite etwa 3 bis 4 mm — noch leisten kann. Damit erreicht aber die mittelst dieser Objectivsysteme noch sichtbar zu machende Streifendistanz für normales Tageslicht bei rein centraler Beleuchtung je 0,43 und 0,39, bei äusserst schiefer je 0,21 und 0,19 μ.

Die Unterscheidungsgrenze des Mikroskopes, welche unter den gegenwärtigen Verhältnissen nicht weiter gesteigert werden kann, liegt also für die gebräuchliche Beleuchtungsweise so, dass sie unter den günstigsten Umständen für noch zulässige, äusserst schiefe Beleuchtung über den Betrag von $^3/_8$, bei rein centraler aber über $^3/_4$ der Wellenlänge (etwa 0,55 μ) des weissen Lichtes nicht hinausgeht. Mittelst Beleuchtung durch homogenes blaues Licht von etwa 0,43 μ Wellenlänge (Fraunhofer'sche Linie *G*) würden sich unter den gleichen Beleuchtungsverhältnissen die obigen Beträge höchstens auf etwa $^3/_{10}$ und $^6/_{10}$ dieser letzteren, d. h. auf etwa 0,15 μ und 0,30 μ herabdrücken lassen.

Ferner gewährt der Werth a auch einen Maassstab für die Entscheidung darüber, welche Vortheile sich aus der Vergrösserung des Oeffnungswinkels ergeben, sobald dieser der äussersten Grenze näher rückt. Eine einfache Betrachtung kann uns belehren, dass ein anscheinend grosser Gewinn an „Oeffnungswinkel“ nur einen weit kleineren Gewinn an numerischer Apertur (je nach Umständen nur 25 bis 30 Proc., ja nur 6 bis 7 Proc. des ersteren) mit sich bringt und dass das Maass des Gewinnes, welches man etwa von der weiteren Vergrösserung der Oeffnung erwarten könnte, selbst dann noch ein nur geringes bliebe, wenn man die gegenwärtig benutzten stärkst brechenden Substanzen zur Einbettung gewisser Präparate (Diatomeen), wie Lösung von Phosphor in Schwefelkohlenstoff $n = 2{,}1$ als Immersionsflüssigkeit und als Material für die Frontlinsen angewendet voraussetzen und dadurch das ideelle Maximum der numerischen Apertur auf entsprechend höheren Werth gebracht denken wollte. Der ganze Vortheil würde darin gipfeln, dass man etwa

bei gewissen Diatomeen noch Anzeichen von Structuren entdeckte, wo man bis jetzt leere Flächen abgebildet sieht, dass bei anderen Gebilden die Structurmerkmale etwas schärfer abgebildet würden, oder dass in gewissem Falle von den bis jetzt inhaltsärmsten Formen noch etwas mehr von dem Inhalte der wirklichen Structureinzelheiten zugänglich gemacht werden könnte. Für das tiefere Eindringen in die thatsächliche Structur der feineren Naturgebilde würde damit aber immerhin noch wenig gewonnen sein. Denn dasjenige Detail von körperlichen Structuren, welches der Kleinheit seiner Ausmaasse halber im strengen Sinne des Wortes durch unsere heutigen Objectivsysteme nicht mehr abgebildet werden kann, würde auch dann noch in nur unvollständigen Bildern zur Wahrnehmung gelangen, welche höchstens einen wenig höheren Grad der Aehnlichkeit darzubieten vermöchten.

4. Verhältniss zwischen Vergrösserungs- und Abbildungsvermögen oder zwischen Brennweite und numerischer Apertur.

95 Die Betrachtungen über die Höhe der förderlichen Vergrösserung (Seite 150 u. f.), die Reinheit, Schärfe etc. des mikroskopischen Bildes und die Grenzen des Auflösungsvermögens lehren, dass die förderliche Vergrösserung für jeden bestimmten Grad technischer Vollendung der Construction (d. h. für die je nach Umständen möglichst hohe Vollkommenheit der Verbesserung der Abbildungsfehler) der Brennweite des Objectivsystemes umgekehrt proportional ist und das von der numerischen Apertur abhängige Abbildungsvermögen zu dieser in geradem Verhältnisse steht. Daraus ergiebt sich, dass die zwei für die Sichtbarmachung des räumlich Kleinen und damit für die Leistungsfähigkeit des Mikroskopes gleich unentbehrlichen Factoren bei einer vernünftigen Construction unseres Instrumentes in ein derartiges Verhältniss zu einander gebracht werden müssen, dass die Grenzen des einen und anderen annähernd zusammenfallen.

Betrachten wir das entsprechende Verhältniss zwischen der förderlichen Vergrösserung und der numerischen Apertur, so würde es ebenso nutzlos sein, die numerische Apertur auf eine Höhe zu bringen, welche die förderliche Vergrösserung nicht mehr zu verwerthen gestattet, als die letztere in höherem Maasse zu steigern, als es das Abbildungsvermögen eines Objectivsystemes nöthig macht. Im ersten Falle, d. h. wenn die numerische Apertur zu gross wäre im Verhältnisse zu der von der Brennweite dargebotenen oder ermöglichten Vergrösserung, würden wir ein nutzloses Abbildungsvermögen haben, welches noch Details abzubilden vermöchte, die nicht gesehen werden könnten; im anderen Falle, wenn die Brennweite eine höhere Vergrösserung bedingte als diejenige, welche

das der numerischen Apertur noch zugängliche Detail erforderte, würde eine leere Vergrösserung entstehen, die im Bilde nichts vorfände, was ihrer bedürfte. Im Anschlusse an das Gesagte ergeben sich gewisse, vielfach noch unbeachtete, aber die eingehendste Beachtung verdienende Grundsätze für die Art und Weise, in welcher Brennweite und numerische Apertur einander angepasst werden sollen. Im Allgemeinen folgt daraus, dass mit kleiner und mässiger Oeffnung, schwache und mässige, mit grosser Oeffnung starke Vergrösserungen beziehentlich kleine Brennweiten zu verbinden sind. Im Besonderen aber ergiebt sich ein bestimmtes Verhältniss, in welches die Brennweite zu den grössten für eine bestimmte Constructionsform zulässigen numerischen Aperturen gebracht werden muss. Fassen wir zunächst die starken Trockensysteme ins Auge, so erscheint bei denselben, wenn der freie Objectabstand nicht in ganz unzulässiger Weise beschränkt und dadurch das Objectivsystem für den regelrechten wissenschaftlichen Gebrauch wenig geeignet gemacht werden soll, eine ausreichende Einschränkung der sphärischen Abweichung nicht mehr möglich, wenn der Oeffnungswinkel über 105^0 bis 115^0 und damit die numerische Apertur über 0,80 bis 0,85 hinausgeht.

Der oben angegebenen numerischen Apertur entspricht für schiefes Licht ein linearer Abstand kleinsten Details (Streifendistanz u. dergl.) von etwa 0,35 bis 0,32 μ. Soll nun dieses Detail einem normalen Auge deutlich zur Wahrnehmung gebracht werden, so erfordert dasselbe unter Annahme eines Sehwinkels von mindestens zwei Bogenminuten, dessen Tangente = 0,00058 ist, für eine Sehweite von 250 mm eine Flächenausbreitung auf 250 . 000,058 mm oder etwa 150 μ, welche von einer fehlerlosen Vergrösserung von 400 bis 500 erreicht wird. Diese Gesammtvergrösserung steht für eine etwa fünffache Angularvergrösserung, wie sie z. B. das Ocular 3 von Zeiss bei 160 mm langem Tubus gewährt, eine Lupenvergrösserung von 80- bis 105 mal zur Seite und hieraus berechnet sich die Brennweite des Objectivsystemes zu 3 bis 2,5 mm. Mit dieser Brennweite muss daher bei den Ansprüchen, welche man heutzutage an die Technik stellen darf, das normale Auflösungsvermögen der Trockensysteme erschöpft sein.

Die Wasserimmersion und die homogene Immersion lassen, wie wir gesehen haben, für die betreffenden Objective noch numerische Aperturen, erstere bis zu 1,25, letztere bis zu 1,40, zu, welchen Streifendistanzen von 0,22 μ und 0,19 μ entsprechen. Diese Werthe erfordern aber Gesammtvergrösserungen von 700- bis 800 fach und müssen demnach unter Voraussetzung vollkommener Construction und einer sechs-, resp. neunfachen Angularvergrösserung Objectivsystemen mit 100- bis 120 facher, beziehentlich 90 facher Lupenvergrösserung, also mit einer Brennweite für Wasserimmersion von 2,5 bis 2 mm, für homogene Immersion von 3 bis 2,5 mm jedenfalls zugänglich sein.

Bezeichnet nun eine 700- bis 800 fache Vergrösserung auch diejenige Grenze, bei welcher die Leistungsfähigkeit des Mikroskopes theoretisch

genommen erschöpft ist, d. h. bei der man Alles sehen kann, was ein normales Auge in dem Mikroskope zu sehen vermag, so ist hiermit doch immerhin nicht das letzte Maass der wissenschaftlich noch verwendbaren und nutzbaren Vergrösserungen gegeben. Für gewisse Structurverhältnisse und zu bestimmten Zwecken wird es jedenfalls bequem sein, wenn nicht nothwendig werden, die Flächenausbreitung der kleinsten, den betreffenden numerischen Aperturen noch zugänglichen linearen Ausmaasse mindestens noch um $^1/_3$, also auf etwa 200 μ zu steigern. Damit würden sich aber die oben gefundenen Zahlen bei dem Trockensysteme auf 500 bis 700, bei den Immersionssystemen auf 900 bis 1200 erhöhen. Es würden also, da es meist angenehmer und unter Umständen erforderlich ist, mit schwächeren Ocularen zu arbeiten, für erstere noch Brennweiten von 2 mm, für letztere von höchstens 1 mm als vorzüglich verwendbare in Betracht kommen. Mit diesen Brennweiten und den entsprechenden numerischen Aperturen ist also die Grenze erreicht, bis zu der, unter den zur Zeit obwaltenden Umständen, eine Ausdehnung der Vergrösserung und des Abbildungsvermögens zulässig erscheint. Was darüber hinausgeht, wie z. B. Objectivsysteme mit Brennweiten von 0,5 mm und weniger, kann auf wissenschaftlichen Werth keinen Anspruch erheben.

Wenden wir uns nun zur Ermittelung derjenigen Constructionselemente, welche den einzelnen Bestandtheilen des optischen Vermögens zur Grundlage dienen, so haben wir uns mit der Bestimmung

1. der Brennweite von Objectivsystemen und Ocularen,
2. des Correctionszustandes und der sich hieran anschliessenden Eigenschaften des optischen Apparates, und
3. der numerischen Apertur

zu beschäftigen.

5. Bestimmung der Brennweite.

96 Die Bestimmung der Brennweite kann, je nachdem man dabei die Definition der Brennweite (S. 91), die Grundgleichung II (S. 91), oder das Convergenzverhältniss conjugirter Strahlen in aplanatischen Punkten und die daraus abgeleitete Sinusregel (S. 56), welche im Wesentlichen wieder auf die Definition der Brennweite hinausläuft, zu Grunde legt, nach verschiedenen Methoden ausgeführt werden, welche bei sorgfältiger Ausführung gerade in ihren theoretischen Grundlagen für die Genauigkeit der Resultate volle Bürgschaft gewähren. Hier müssen wir uns auf einige wenige Methoden beschränken, welche keine weiteren Hülfsmittel erfordern, als die bei dem gewöhnlichen Gebrauche des Mikroskopes zur Verwendung

kommenden: wie ein Ramsden'sches Mikrometerocular (dasselbe kann auch für alle anderen Messungszwecke an die Stelle des gewöhnlichen Mikrometeroculares treten) und ein Objectglasmikrometer.

97

Für Trockensysteme (auch für Oculare und Einzellinsen) eignet sich eine leicht ausführbare Methode, welche auf der Grundgleichung II

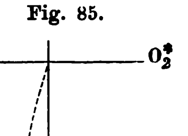


Fig. 85.

$$\frac{y^*}{y} = -\frac{x^*}{f^*} \quad \text{oder} \quad N = -\frac{x^*}{f^*}$$

beruht, die, wenn beiderseits Luft als Medium vorausgesetzt wird und die Linsensysteme oder Linsen collective, d. h. solche mit positiver f und negativer N für positive x^* sind, in die Gleichung

$$N = \frac{x^*}{f}$$

übergeht, in der N die lineare Vergrösserung des Bildes bezeichnet, welches im Abstande x^* vom hinteren Brennpunkte F^* des zu messenden Objectivsystemes entsteht und daselbst beobachtet werden kann.

Denken wir uns die lineare Vergrösserung einmal für die Ebene O_1^* und den Abstand x_1^*, dann für die Ebene O_2^* und den Abstand $x_2^* = x_1^* + a$ (Fig. 85) bestimmt, so erhalten wir

$$N_1 = \frac{x_1^*}{f}$$

$$N_2 = \frac{x_2^*}{f} = \frac{x_1^* + a}{f}$$

$$N_2 - N_1 = \frac{x_1^* + a}{f} - \frac{x_1^*}{f} = \frac{a}{f}$$

und daraus

$$f = \frac{a}{N_2 - N_1}$$

Zur praktischen Ausführung bestimmt man unter Zuhülfenahme des Ramsden'schen Mikrometeroculares, welches mittelst eines auf seine Fassung aufsteckbaren Ringes so ausgeglichen wird, dass die Mikrometertheilung mit der Ebene des oberen Tubusrandes zusammenfällt, bei irgend einer beliebigen, gemessenen Rohrlänge die entsprechende Vergrösserung N_1, indem man die Anzahl der Intervalle (y^*) abzählt, welche auf ein Intervall (y) eines nach gleicher Einheit getheilten Objectglasmikrometers gehen (bei einem in $^1/_{100}$ mm getheilten Objectmikrometer würden 10 Abtheilungen einer Abtheilung eines in $^1/_{10}$ mm getheilten Ocularmikrometers entsprechen u. s. f.). Hierauf ermittelt man bei einer an-

deren ebenfalls gemessenen, von der ersteren ansehnlich verschiedenen Rohrlänge die zugehörige Vergrösserung N_2; dann berechnet man die Differenz der Rohrlängen sowie der Vergrösserungsziffern und dividirt, um die gesuchte Brennweite zu erhalten, die erstere durch die letztere. Hätte man z. B. auf diese Weise gefunden

bei 140 mm Rohrlänge $N_1 = 16,3$
„ 180 „ „ $N_2 = 20$

so würde sein

$$f = \frac{40}{3,7} = 10,8 \text{ mm}$$

98 Für Immersionssysteme mit einer die Einheit überschreitenden numerischen Apertur ergiebt sich eine einfache Bestimmungsweise der Brennweite mittelst mikrometrischer Messung des Durchmessers (D) des Kreises der Totalreflexion. Wie wir Seite 160 gesehen haben, wird der Werth von $a = 1$, wenn ein derartiges Objectivsystem mit der betreffenden Immersionsflüssigkeit zwischen Vorderlinse und Deckglas auf ein von Luft umgebenes Präparat eingestellt wird und wir erhalten:

$$f = \frac{1}{2} \cdot D$$

Hätte man z. B. für ein Immersionssystem den Durchmesser (D) des Kreises der Totalreflexion mittelst des (z. B. mit dem Systeme a_1 Zeiss oder einem ähnlichen Systeme hergestellten) Hülfsmikroskopes, für welches man den Werth einer Abtheilung des Ocularmikrometers in der später mitzutheilenden Weise festgestellt hat, mikrometrisch zu 5,86 mm bestimmt, so erhielte man

$$f = \frac{1}{2} \cdot 5,86 = 2,93 \text{ mm}.$$

6. Erprobung des Aplanatismus und der Achromasie.

99 Wie wir gesehen haben, treten die Abweichungsfehler nach verschiedenen Richtungen hin und in verschiedenem Maasse hervor. Demnach erfordert die Ermittelung des Correctionszustandes der Objectivsysteme ein Verfahren, welches die Zerlegung dieser Fehler in ihre einzelne Bestandtheile ermöglicht und die Art ihres Hervortretens mit Sicherheit zu erkennen gestattet. Dieser Anforderung sind nun die bisher angewendeten Verfahrungsweisen zur Ermittelung der sphärischen und chromatischen Abweichung nicht ausreichend gewachsen. Dieselben führen keineswegs zu einer vollständigen Kenntniss der Abweichungsfehler, da die durch sie sichtbar zu machenden Wirkungen der letzteren nicht einfache sind, sondern aus vielen verschiedenartigen Ursachen hervorgegangene Gesammtwirkungen vorstellen. Dagegen gestattet das

vom Professor Abbe auf Grund genauer Studien der hier in Frage kommenden Fehler vorgeschlagene Verfahren die durch die Theorie nachweisbaren Correctionsmängel mittelst höchst einfacher Hülfsmittel am fertigen Instrumente in vollem Umfange nachzuweisen.

Das hierbei in Frage kommende Verfahren setzt die Anwendung eines Oculares von etwa 20 mm Brennweite für schwache, 25 bis 35 mm Brennweite für mittlere und stärkere Objectivsysteme sowie recht helles Licht voraus und beruht im Wesentlichen darauf, dass man die Bilder, welche die verschiedenen zur Wirksamkeit kommenden Zonen der freien Objectivöffnung erzeugen, entweder gleichzeitig oder nach einander zur Erscheinung bringen und jedes einzelne nach seiner Beschaffenheit genau beobachten kann. Es gestattet sonach eine zweifache, in der Versuchsanordnung etwas verschiedene Ausführungsweise. Als Object dient in beiden Fällen ein Präparat, welches nur scharfe Grenzen zwischen vollkommen durchsichtigen und ganz oder fast ganz undurchsichtigen Theilen innerhalb einer einzigen Ebene darbietet und an den hindurchtretenden Strahlen keinerlei Ablenkungen hervorbringt. Ein solches für schwache wie für die stärksten Systeme passendes Präparat wird dadurch erhalten, dass man gröbere und feinere Liniengruppen in eine äusserst dünne, auf einem vollständig ebenen dünnen Glasplättchen — hier auf einem Deckglase — niedergeschlagene Silber- oder Goldschicht einritzt und dann mehrere derart behandelte, ihre Dicke nach genau gemessene und wechselnde Plättchen — die versilberte oder vergoldete Fläche nach unten gewendet — mittelst Canadabalsam neben einander auf einen Objectträger aufkittet[1]).

Die eine Methode, welche darauf hinausgeht, das Zusammenwirken der verschiedenen Zonen des Objectivsystemes, sowohl in der Mitte wie am Rande des Sehfeldes, zur Anschauung zu bringen und dabei doch die Bilder, welche sie einzeln erzeugen, deutlich unterscheidbar zu erhalten, ist an den Besitz des Abbe'schen Beleuchtungsapparates gebunden und muss hier übergangen werden. Für die zweite dagegen, welche darauf abzielt, die von verschiedenen Zonen der freien Objectivöffnung erzeugten Bilder nach einander vorzuführen, genügt in Ermangelung genannten Apparates zur Ausführung neben dem beschriebenen Probetäfelchen der aus der Achse verstellbare Hohlspiegel. Dieselbe gewährt auf etwas einfacherem und kürzerem Wege, als die andere, schon hinreichend sichere Resultate und ist allen denjenigen zu empfehlen, welche die vollständigen Beleuchtungseinrichtungen nicht besitzen, bei der Beurtheilung ihres Instrumentes aber doch einen strengeren Maassstab anlegen wollen, als es bisher meist geschehen ist. Man stellt dabei die in die Mitte des Sehfeldes gebrachte Linie der betreffenden Liniengruppe bei centraler Beleuchtung scharf ein, nimmt das Ocular hinweg und bewegt, während

---

[1]) Dr. Zeiss liefert solche Probetäfelchen mit sechs verschiedenen Deckglasdicken von etwa 0,09 bis 0,24 mm in Etuis zu dem Preise von 7 Mark.

man in das offene Rohr sieht, den Spiegel (beziehungsweise die Blendung des Abbe'schen Apparates) soweit aus der Achse, bis sein (beziehungsweise ihr) in der Austrittspupille erscheinendes Bild (Fig. 86) den Rand dieser letzteren berührt. Dann setzt man das Ocular wieder ein und beobachtet das Probeobject wiederholt, um die Beschaffenheit des mittelst des Randbüschels erzeugten Bildes zu ermitteln. Bei schwächeren Objectivsystemen, deren Oeffnungswinkel kleiner, gleich oder wenig grösser ist, als der anguläre Durchmesser des Spiegels, also bei Oeffnungswinkeln bis zu etwa 60°, muss man die Fläche des letzteren durch aufgelegte Cartonblendungen soweit verkleinern, dass dessen Bild nur noch etwa den vierten Theil des Oeffnungsbildes einnimmt.

Fig. 86.

Bei dem Befunde dieser Beobachtungsweise ist zunächst für die Beurtheilung der Vollkommenheit eines Objectivsystemes das Bild der einen hellen Linie, welche genau die Mitte des Sehfeldes durchzieht und dann erst das Verhalten derjenigen, welche dem den Rand einnehmenden Theile der Liniengruppe angehört, in Betracht zu ziehen.

Bei richtig corrigirten Objectivsystemen muss die bei centralem Lichte eingestellte, durch die Mitte des Sehfeldes gehende Linie auch dann scharf begrenzt bleiben und darf nur secundäre reine scharfe Farben zeigen, wenn man zu dem schiefen Lichte übergegangen ist und nun das Präparat ohne Aenderung der früheren Einstellung wieder mit aufgestecktem Oculare beobachtet. Mangelhafte Correction äussert sich hier dadurch, dass bei schiefem Lichteinfalle entweder überhaupt keine scharfe Begrenzung mit schmalen und reinen Farbensäumen: apfelgrün bis saftgrün einerseits und rosa bis lila andererseits, zu erreichen ist und ein breiter Aberrationsraum an deren Stelle tritt, oder dass zu deren Herstellung eine wesentlich veränderte Einstellung nothwendig wird, während zugleich verwaschene gelbe und blaue Farbensäume auftreten. Eine geringe Einstellungsdifferenz wird beim besten Correctionszustande immer deshalb eintreten, weil wegen der chromatischen Differenz der sphärischen Abweichung diese letztere immer für die Mitte des optisch wirksamen Spectrums, also für das Ende des Grüns, ihr erreichbares Minimum gewinnen muss. Nun herrschen aber in der Wirkung auf das Auge die lichtstärkeren Strahlen Orange und Gelb vor und so kommt es, dass bei einer Einstellung auf eine scharfe Grenzlinie die Einstellung auf den Vereinigungspunkt jener Strahlen das schärfste Bild gewährt und dass bei der angedeuteten besten Correction für Gelb schon eine kleine Abweichung in der Vereinigung centraler und peripherischer Strahlen, d. h. eine kleine Niveaudifferenz zwischen dem schärfsten Bilde der centralen und dem schärfsten Bilde der Randstrahlen, eintreten muss.

Die in Folge der chromatischen Differenz der Vergrösserung erscheinenden Farbensäume treten hier bei schiefer Beleuchtung sehr entschieden hervor. Wenn man die Linien von einem Ende des Sehfeldes bis zu dem anderen in der Richtung des Lichteinfalles verfolgt, so geben dieselben in der auftretenden Farbenscala die Wirkung der Uebereinanderlagerung der in der Mitte vorhandenen secundären Farbensäume, mit den nach dem Rande hin zunehmenden primären Spectren, welche durch das seitliche Uebereinandergreifen der blauen Bilder über die rothen entstehen. Man erhält von dem Punkte der besten Achromasie aus Farbensäume, welche nach der einen Richtung hin durch Blaugrün und Purpur in Blau und Roth, nach der anderen durch Gelblichgrün und ein unbestimmtes Violett in Gelb und Blau übergehen, also zu den beiden Farben, welche den Anfang einer primären Farbenabweichung — jenes Unter-, dieses Ueberverbesserung — anzeigen.

Diese den ganzen Correctionszustand eines Mikroskopes in seinen einzelnen Bestandtheilen nach Art und Grösse genau darlegende Prüfungsmethode ergiebt auch dasjenige, was den eigentlichen Abweichungen oder der Focalwirkung angehört, deutlich getrennt von den Unvollkommenheiten, welche aus den ungleichen Vergrösserungen zwischen ungleich geneigten und ungleich brechbaren Strahlen entspringen. Ausserdem kann man den Einfluss des Oculares auf die durch die gemeinschaftlichen Abweichungsfehler bedingte Beschaffenheit des Bildes ausserhalb der Achse dadurch aufheben, dass man mittelst einer engen, über den Tubus hinwegführbaren Blendung an verschiedenen Stellen des Sehfeldes nur dessen Mitte wirksam werden lässt.

100 Die von Professor Abbe empfohlene Methode[1]) zur Erprobung der Wahrung des Convergenzverhältnisses in zugeordneten aplanatischen Punkten für Objectivsysteme mit grossem Oeffnungswinkel gründet sich auf die diesem Verhältnisse eigenthümliche, genau vorauszubestimmende Verzerrung des Bildes, welches das betreffende System von einer, von dem aplanatischen Punkte auf der Objectseite entfernten Ebene — etwa A der Fig. 89 — in der zugeordneten Ebene — A^* derselben Figur — durch Strahlenkegel entwirft, deren Hauptstrahlen sich in diesem aplanatischen Punkte kreuzen. Die eigenthümliche Art dieser Verzerrung lässt sich ausreichend genau feststellen, wenn man die Umgestaltung bestimmt, welche ein System paralleler Linien bei der Abbildung erleidet, oder wenn man die Gestalt derjenigen Curven aufsucht, welche im Bilde als parallele Gerade erscheinen müssen. Diese durch Rechnung unschwer auszuführende Bestimmung ergiebt z. B., dass eine durch eine bestimmte Gleichung gegebene Schar von Hyperbeln mit gleichem Mittelpunkte und gleicher Nebenachse, aber verschieden grossen Hauptachsen als ein System

---

[1]) Abbe: Ueber die Bedingungen des Aplanatismus der Linsensysteme. Sitzungsberichte der Jenaischen Gesellschaft für Medicin und Naturwissenschaft 1879.

von parallelen geraden Linien abgebildet wird, wenn die abbildenden Strahlenkegel beim Eintritte in das optische System sich in dem aplanatischen Punkte auf der Objectseite kreuzen und wenn weiter zur Vereinfachung angenommen wird, dass der Convergenzwinkel der Strahlen in dem zugeordneten Punkte auf der Bildseite als so klein angesehen werde, dass auf dieser Seite die Sinus den Tangenten gleich gesetzt werden können. Von diesen beiden Bedingungen erscheint die letztere bei dem Mikroskopobjective immer in genügender Annäherung vorhanden, während die erste immer dann erfüllt ist, wenn bei der Beobachtung die Pupille des beobachtenden Auges, oder die sonst den Zutritt der Strahlen zu dem Auge vermittelnde Oeffnung an dem Orte des zugeordneten aplanatischen Punktes auf der Bildseite in die Achse des optischen Systemes gebracht wird, da in diesem Falle kein Strahl zum Auge gelangen kann, welcher beim Eintritte in das System nicht durch das der Pupille oder der sonst wirksamen Oeffnung zugeordnete jetzt als Ein-

Fig. 87.



△ = 12,5 mm.

trittsöffnung wirksam werdende Flächenelement auf der Achse hindurchgegangen war.

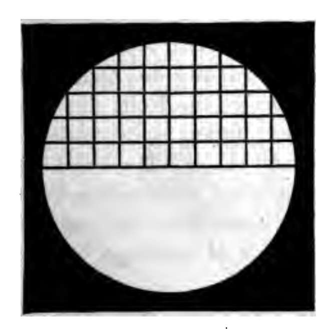
Das für die in Frage kommende Beobachtung erforderliche Object wird gebildet aus zwei Scharen von Hyperbeln mit gemeinsamem Mittelpunkte, senkrecht sich schneidenden Hauptachsen und gemeinsamer Nebenachse (△) (Fig. 87) [1], welche zusammen eine genügend grosse, an Länge mindestens dem Achtfachen, an Breite dem Vierfachen der 12 bis 50 mm messenden Nebenachse △ gleiche Fläche umfassen, welche Figur man dann auf ein ganz ebenes, dünnes, sich nicht ziehendes Brett, oder bei kleinen Dimensionen — wie unsere nebenstehende Figur — auf ein Glastäfelchen aufzieht.

---

[1]) Damit die geraden Linien im Bilde eine gewisse und überall gleiche Stärke erhalten, werden die Curven als schwarze Streifen zwischen je zwei Hyperbeln dargestellt.

Bringt man den Mittelpunkt des Curvensystemes in die optische Achse und hebt den Tubus soweit, dass der Einstellungspunkt des zu prüfenden Objectivsystemes, d. h. der aplanatische Punkt auf der Objectseite von der Zeichnungsfläche einen der Nebenachse △ gleichen Abstand — etwa *l* der Fig. 89 — erhält, dann müssen, wenn das Convergenzverhältniss gewahrt ist, in dem Bilde der Objectivöffnung zwei Scharen paralleler gleich weit von einander abstehender, sich rechtwinklig durchschneidender Linien erscheinen und die krummlinig begrenzten, nach aussen hin immer mehr ausgedehnten und immer stärker verzogenen Felder der Objectfigur sich sämmtlich als congruente quadratische Felder darstellen (Fig. 88), während Abweichungen von dem richtigen Convergenzverhältnisse sich durch das Auftreten eines mehr oder minder verzerrten Liniennetzes bemerklich machen.

Fig. 88.



Mit Objectivsystemen bis zu etwa 4 und 3 mm Brennweite herab kann die beschriebene Erscheinung hinreichend deutlich mit freiem Auge beobachtet werden, indem man, wie schon öfter erwähnt, in den offenen Tubus auf das Bild der Objectivöffnung hinabsieht. Bei Objectivsystemen mit kürzerer Brennweite dagegen, welche dies Bildchen zu klein werden lassen, muss die Beobachtung mittelst des Hülfsmikroskopes geschehen.

101 Zur Feststellung derjenigen Fehler, welche durch falsche Centrirung hervorgerufen werden, oder den Centrirungsfehlern ähnlich wirken und oben als Unsymmetrie in der optischen Wirkung eines Systemes bezeichnet wurden, ist es erforderlich, das letztere um seine Achse drehen zu können, ohne dass das zur Befestigung am Tubus dienende Gewinde diese Drehung ausführt. Dies kann mittelst eines Zwischenstückes geschehen, dessen oberer Theil in den Tubus fest eingeschraubt wird, während sich der untere, das Objectivsystem aufnehmende centrisch und leicht in jenem dreht. Das Prüfungsverfahren besteht in Folgendem: Man stellt ein geeignetes Probeobject, z. B. die für die vorausgehenden Untersuchungen über die Correctionsmängel erforderliche Silberplatte, bei schiefem Lichte ein und dreht dann das zu prüfende Objectivsystem, indem man von $^1/_4$ zu $^1/_4$ oder von $^1/_8$ zu $^1/_8$ Umdrehung fortschreitet, um seine Achse, während man die durch die mechanische Unvollkommenheit dieser Drehung eintretende Veränderung in der scharfen Einstellung und Verschiebung des eingestellten Punktes aus der Mitte des Sehfeldes immer wieder ausgleicht. Besitzt das zu prüfende Objectivsystem keine Mängel der bezeichneten Art, dann muss die Beschaffenheit des Bildes: Schärfe, Charakter der sphärischen und chromatischen Abweichung etc. in allen Stellungen genau die gleiche bleiben. Treten dagegen sicht-

bare Veränderungen auf, so bekunden dieselben Unsymmetrie der optischen Wirkung, also entweder Fehler in der Centrirung oder örtliche Fehler in den Linsen selbst oder in den Kittschichten.

7. Bestimmung der numerischen Apertur.

102 Das Verfahren zur Bestimmung der numerischen Apertur geht theoretisch darauf hinaus, das Oeffnungsbild des abbildenden Objectivsystemes in das Sehfeld eines Fernrohres umzuwandeln, dessen angulares Gesichtsfeld den bei der mikroskopischen Abbildung wirksamen Oeffnungswinkel umfasst und seiner Ausdehnung nach durch Messung bestimmt werden kann. Die hierzu erforderliche Anordnung des optischen Apparates besteht darin, dass dem Mikroskopobjective die Rolle des Objectives eines Miniaturfernrohres übertragen wird, indem man dasselbe für schwächere Objectivsysteme mit dem blossen Auge, für stärkere dagegen mit dem als terrestrisches Ocular wirkenden Hülfsmikroskope verbindet und damit das nahezu in der hinteren Brennebene des ersteren F^* (Fig. 89) entworfene Bildchen A^* eines vor dem Mikroskope befindlichen Gegenstandes A beobachtet.

Als solcher Gegenstand, d. h als Messapparat dient bei Trockenobjectiven bis zu 0,85 numerischer Apertur eine Scala [1]), deren Intervalle für den Abstand $l = 100$ mm gleichen Zunahmen von $sin\, u$, also der Reihe nach den Werthen

$$sin\, u = 0{,}05,\ 0{,}1,\ 0{,}15,\ 0{,}20\ \ldots$$

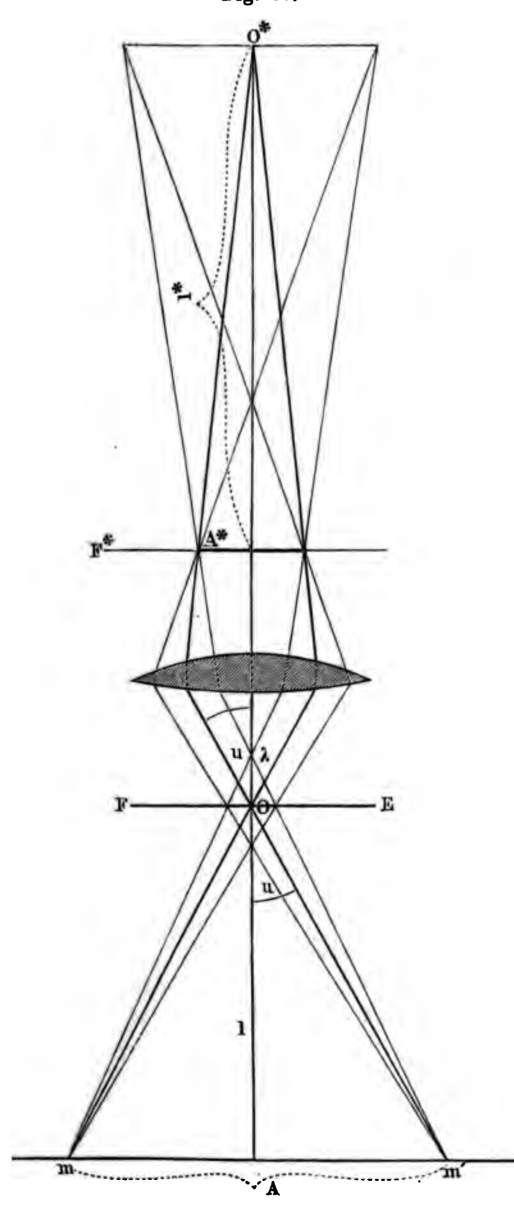
entsprechen. Man kann sich dieselbe leicht anfertigen, indem man von dem Nullpunkte aus nach rechts und links die den betreffenden Sinuswerthen entsprechenden Tangentenwerthe ausgedrückt in Millimetern aufträgt, so dass die Intervalle betragen:

für $sin\, u$	Millimeter	für $sin\, u$	Millimeter
0,00	0,00	0,45	50,37
0,05	5,00	0,50	57,73
0,10	10,05	0,55	65,84
0,15	15,17	0,60	75,00
0,20	20,41	0,65	85,57
0,25	25,82	0,70	97,97
0,30	31,45	0,75	113,3
0,35	37,38	0,80	133,4
0,40	43,65	0,85	161,3

[1]) Für genaueste Messungen dient das Abbe'sche Apertometer (Handbuch, Seite 349 u. f.).

Diese Scala wird nach Beseitigung des Beleuchtungsapparates zuächst so aufgelegt, dass ihre Theilung 100 mm unterhalb der Ebene es Objecttisches und ihr Nullpunkt möglichst genau in die optische Achse zu liegen kommt. Hierauf wird auf die Tischebene eingestellt (man bedient sich hierbei zweckmässig eines sehr dünnen Deckglases, dessen einer Fläche ein × eingeritzt oder aufgezeichnet ist und welches man mit dieser Fläche über die Tischöffnung legt) und dann zwei geschwärzte Messingscheibchen auf der Scala verschoben, während bei schwächeren Systemen immer mit dem blossen Auge, bei stärkeren mit dem Hülfsmikroskope die Stellung derselben beobachtet wird, in der sie mit ihren äusseren Rändern die gegenüber liegenden Ränder des Oeffnungsbildes berühren, oder mit ihren inneren gerade in dieses eintreten. Die von den entsprechenden Rändern der beiden Scheibchen berührten Theilstriche *m* und *m'* geben nun in den beigesetzten Zahlen, wenn diese — wegen der nicht immer ganz genau zu erzielenden Lage des Nullpunktes in der optischen Achse — addirt und durch 2 dividirt werden, unmittelbar den Zahlenwerth

Fig. 89.



der numerischen Apertur. Kommen die Scheibchenränder nicht genau am Theilstrich zu liegen, so kann man den betreffenden Bruchtheil des Intervalles leicht durch Schätzung bestimmen.

Eine weitere einfache, genaue Resultate gewährende, jedoch den Besitz eines entsprechenden Beleuchtungsapparates mit ausreichender Oeffnung voraussetzende Methode zur Bestimmung der numerischen Apertur von Trocken- und Immersionssystemen ergiebt sich aus der auf Seite 56 entwickelten Formel

$$a = \frac{\varrho}{f}$$

Zur Ausführung derselben wirft man durch den Beleuchtungsapparat, als welcher eine einfache halbkugelförmige Linse dienen kann, welche mittelst eines Wassertropfens an den Objectträger angeklebt wird, einen die Oeffnung des Objectivsystemes voll ausfüllenden Lichtkegel in das Mikroskop. Dann stellt man, wie bei der gewöhnlichen mikroskopischen Beobachtung, bei Trockensystemen auf ein beliebiges, bei Immersionssystemen auf ein Balsampräparat ein, rückt den Objectträger, um die Begrenzung des Oeffnungsbildes scharf und rein zu erhalten, so, dass das Sehfeld von dem Objecte frei wird und misst mittelst des Hülfsmikroskopes den Durchmesser des Oeffnungsbildes mikrometrisch. Hätte man z. B. die Brennweite eines Objectives zu 3 mm, den Durchmesser des Oeffnungsbildes zu 6,31 mm, also ϱ zu 3,15 bestimmt, so würde sich daraus ergeben haben:

$$a = \frac{3{,}15}{3} = 1{,}05$$

103 Soll aus der numerischen Apertur der Oeffnungswinkel ermittelt werden, so giebt die Begriffserklärung der ersteren in der Umsetzung der Gleichung

$$a = n \, . \sin u$$

das Mittel an die Hand, den nach dem betreffenden Medium bemessenen Oeffnungswinkel zu erhalten.

Es ist nämlich

$$\sin u = \frac{a}{n}$$

woraus u und damit $2u = w$ berechnet werden kann.

Sei z. B. für ein Trockensystem ($n = 1$) $a = 0{,}6$ ($= \sin u$), so ist $u = 37^0$ und $w = 74^0$. Wäre ferner $a = 1{,}4$ (homogene Immersion), $n = 1{,}52$, so ist

$$\sin u = \frac{1{,}4}{1{,}52} = 0{,}921 \ldots$$

$$u = 67^0 \text{ (nahezu)}, \; w = 134^0 \text{ (in Balsam)}.$$

Um über das Verhältniss zwischen der numerischen Apertur und dem entsprechenden Oeffnungswinkel eine Uebersicht zu gewähren, möge

die nachfolgende Tabelle dienen, in welcher die betreffenden Beträge in runden Zahlen angegeben sind.

Numerische Apertur	Oeffnungswinkel			Numerische Apertur	Oeffnungswinkel		
	Trockensysteme $n = 1$	Wasserimmersion $n = 1{,}33$	Homogene Immersion $n = 1{,}52$		Trockensysteme $n = 1$	Wasserimmersion $n = 1{,}33$	Homogene Immersion $n = 1{,}52$
0,15	17°	—	—	0,85	116°	—	—
0,20	23°	—	—	0,90	128°	85°	—
0,25	29°	—	—	0,95	144°	91°	—
0,30	35°	—	—	1,00	180°	97°	82°
0,35	41°	—	—	1,05	—	104°	86°
0,40	47°	—	—	1,10	—	112°	92°
0,45	53°	—	—	1,15	—	119°	98°
0,50	60°	—	—	1,20	—	128°	104°
0,55	66°	—	—	1,25	—	140°	113°
0,60	74°	—	—	1,30	—	156°	120°
0,65	82°	—	—	1,35	—	—	128°
0,70	90°	—	—	1,40	—	—	134°
0,75	97°	—	—	1,45	—	—	145°
0,80	106°	—	—				

II. Bestimmung der Vergrösserung.

104 Die Vergrösserung eines Mikroskopes steht zunächst zwar für die Leistungsfähigkeit desselben insofern nicht in erster Linie, als es nicht darauf ankommt, wie gross das von ihm erzeugte Bild möglicherweise sein, sondern welche Einzelheiten man in demselben und in welchem Grade der Bestimmtheit, Reinheit und Schärfe man sie wahrnehmen kann. Für manche Structurverhältnisse und Objecte sind jedoch bestimmte Grenzen in der Vergrösserung gesteckt, unterhalb deren man sie entweder gar nicht mehr oder doch nicht mit der erforderlichen Bestimmtheit zu unterscheiden vermag. In diesen Fällen ist dann eine mit den übrigen Seiten des optischen Vermögens gepaarte bis zu jener Grenze

reichende Steigerung der Vergrösserungskraft unbedingtes Erforderniss für den Werth eines Instrumentes, und es ist stets dasjenige am höchsten zu stellen, welches bei stärkerer Vergrösserung erst den Höhepunkt seiner Leistungen erreicht, d. h. nicht nur ein stärker vergrössertes, sondern auch ein solches Bild giebt, welches feinere Einzelheiten der Structur oder deren Anzeichen zur klaren Anschauung bringt. Auch in praktischer Hinsicht ist die Kenntniss der Vergrösserung, bei welcher irgend eine mikroskopische Beobachtung ausgeführt wurde, an und für sich nicht von unbedingter Nothwendigkeit; doch erscheint sie einerseits für den höchst erwünscht, welcher letztere einer möglichst eingehenden Controle unterwerfen will und wird andererseits bei mikroskopischen Messungen unumgänglich nothwendig. Es sollte daher die Vergrösserungsziffer bei jedem beobachteten Objecte neben dessen Zeichnung in einer oder der anderen Weise angegeben sein.

Der zuverlässigste Weg zur genauen Bestimmung der Vergrösserung ist durch die Gleichung auf Seite 33 angezeigt, indem dieselbe mittelst der Grundfactoren $f_1 f_2$ und $\triangle$ erfolgt. Da dieser Weg aber einerseits ein etwas umständlicher ist, andererseits gewisse Hülfsmittel verlangt, so sollen hier nur die Methoden zur directen Bestimmung durch Messung betrachtet werden.

Diese Methoden, welche sich auf die aus der Grundgleichung II (Seite 9) abgeleitete Formel

$$N = \frac{y^*}{y} \cdot \frac{250}{x^*}$$

gründen, welche, wenn man als besonderen Fall den annimmt, dass $x^* = 250$ mm sei, übergeht in

$$N = \frac{y^*}{y},$$

kommen im Wesentlichen darin überein, dass man das Bild eines seiner Grösse nach genau bekannten Objectes, z. B. der Abtheilung eines Glasmikrometers, mittelst der Camera lucida oder eines ähnlich wirkenden Hülfsmittels auf einer Ebene projicirt und der Messung unterwirft. Der Quotient, welchen man erhält, wenn man das Maass des Bildes durch dasjenige des Objectes dividirt, stellt dann die entsprechende Vergrösserungsziffer dar. Sei z. B. jenes = 4,5 mm, dieses = 0,01 mm, so ist die Vergrösserungsziffer $= \frac{4,5}{0,01} = 450$.

105 Ehe wir zu den einzelnen Methoden selbst übergehen, müssen wir noch einige Punkte näher ins Auge fassen, welche nicht ohne Wichtigkeit für die Sicherheit und Genauigkeit der Resultate sind.

Zunächst ist zu beachten, dass der Abstand des beobachteten Bildes nicht vom Oculare oder von dem Auge des Beobachters aus, sondern von dem hinteren Brennpunkte F^* des Mikroskopes, dem sogenannten Augenpunkte ab zu messen ist, und infolge hiervon gewisse Vorsichts-

maassregeln zu beobachten sind. Wenn bei der Beobachtung eines der eben erwähnten, später näher zu beschreibenden Hülfsmittel zur Projection des Bildes des der Messung zu Grunde gelegten Maassstabes auf einer Ebene neben dem Mikroskope benutzt wird, so ist zu beachten, dass die Entfernung (x^*) zwischen dieser Ebene und dem Augenpunkte durch den ganzen (gebrochenen) Weg $a + b$ des reflectirten Lichtstrahles dargestellt wird, und in dieser Summe in Rechnung gebracht werden muss, und dass hier dann leicht Fehler unterlaufen, wenn nicht einfache Spiegel, sondern Prismen die Reflexionen vermitteln, indem man dann das Stück zwischen letzteren nur unsicher bestimmen kann. Um sichere Resultate zu gewinnen, wirft man vortheilhaft das Bild auf eine senkrechte Fläche vor dem Mikroskope, und zwar mit Hülfe eines einfachen Spiegelchens (ein unbelegtes oder versilbertes, zur Beobachtung des Bildes mit einer durchsichtigen Stelle in der Mitte versehenes Deckglas), welches man möglichst genau in das Niveau des Augenpunktes einstellt. Da indessen auch hier immer eine gewisse Unsicherheit im Orte des Augenpunktes — des F^* — bleibt, wenn man nicht sehr umständlich verfahren will, so ist es — um dieser Unsicherheit möglichst wenig Einfluss zu gewähren — gut, einen möglichst grossen Werth von x^* zu wählen, d. h. die Projectionsfläche thunlichst weit zu entfernen, und zur Reduction auf die angenommene Sehweite von 250 mm die Vergrösserung nach der Formel

$$N = \frac{y^*}{y} \cdot \frac{250}{x^*}$$

zu berechnen.

Unter allen Umständen ist es erforderlich, die Vergrösserungen für 250 mm als Normalabstand des Bildes anzugeben. Ist es auch leicht, die entsprechenden Vergrösserungsziffern auf andere Entfernung zu reduciren, so ist diese Arbeit doch immerhin einigermaassen unbequem und zeitraubend. Daher halte ich das Verfahren für verwerflich, wonach der Eine bei 8″ Pariser, der Andere bei 8″ Rheinländisch, ein Dritter endlich bei 10″ Pariser oder Rheinländisch Maass oder für eine gewisse Rohrlänge seine Vergrösserungen bestimmt. Alle von mir in diesem Werke gegebenen Zahlenangaben der Vergrösserungen sind aus diesem Grunde bei einem Abstande von 250 mm zu verstehen, wenn dieses auch nicht ausdrücklich dabei angegeben sein sollte.

Zweitens muss in Betracht gezogen werden, dass die erhaltenen Vergrösserungen, wenn sie auch bei gleichem Abstande zwischen Auge und Projectionsebene ermittelt sind, immer nur einen relativen Werth haben, der streng genommen nur für das Auge desjenigen gilt, welcher die Bestimmung ausführte. Ist die hieraus resultirende Differenz auch im Allgemeinen nicht von grosser Erheblichkeit, so folgt doch daraus, dass in der Regel, namentlich aber wo es sich, wie bei mikrometrischen Messungen, um ganz genaue Kenntniss der Vergrösserung handelt, dieselbe von dem Beobachter selbst bestimmt sein s

106 Die ältere, einfachere Methode, welche auch für die meisten Fälle, namentlich insoweit nur schwächere Vergrösserungen in Betracht kommen, ganz genügende Resultate liefert, ist die von Jaquin (Baumgärtner's und Ettingshausen's Zeitschrift für Physik und Mathematik, Thl. IV. 1. 1828) empfohlene. Um nach ihr die verschiedenen Vergrösserungen eines Mikroskopes zu bestimmen, projicirt man mittelst eines der dazu geeigneten Hülfsmittel das Bild eines in dem Gesichtsfelde befindlichen Mikrometers auf einem in beliebigem, aber bestimmtem, oder in dem nach Uebereinkunft festgestellten Normalabstande (250 mm) befindlichen, nach der gleichen Einheit getheilten Maassstabe. Hat man dafür Sorge getragen, dass die Beleuchtung des Gesichtsfeldes und diejenige des Maassstabes gehörig geregelt und in Uebereinstimmung sind, so unterliegt es bei schwächeren und mittelstarken Vergrösserungen ganz und gar keiner Schwierigkeit, das Bild des Mikrometers deutlich auf dem Maassstabe zu sehen uud die Zahl der Abtheilungen des ersteren zu ermitteln, welche auf eine oder mehrere Abtheilungen des letzteren treffen. Für die schwächsten Vergrösserungen eignet sich zu diesen Bestimmungen am besten ein Mikrometer, welcher $^1/_{10}$, für stärkere ein solcher, welcher $^1/_{100}$ mm angiebt. Als Maassstab kann in beiden Fällen eine mittelst Tusche auf weissem Kartenpapier ausgeführte, ausreichend genaue Theilung dienen, welche einzelne Millimeter angiebt und auf welcher je 5 und dann je 10 mm auf die bekannte Weise durch längere Striche markirt sind.

Bequemer und zuverlässigere Resultate gewährend finde ich für kleinere x^* — 250 mm — ein etwas abgeändertes Verfahren. Ich projicire das Bild des Mikrometers nicht unmittelbar auf den Maassstab, sondern auf ein Papier, schliesse eine oder mehrere Abtheilungen desselben in zwei feine Bleistiftlinien ein, fasse deren Abstand zwischen die Spitzen eines guten Zirkels und bestimme dessen Grösse mittelst eines Maassstabes, der so eingerichtet ist, dass man noch Zehntel des Millimeters messen kann. In der Regel verfahre ich in der Art, dass ich nicht einzelne, sondern je nach den Vergrösserungen Gruppen von fünf oder zehn Mikrometerabtheilungen zwischen zwei feine Linien einschliesse und deren Abstand messe. Auf diese Weise äusseren Unterschiede in dem Werthe einzelner Abtheilungen weniger Einfluss und man erhält das Maass einer solchen Abtheilung so genau, als nur irgend möglich. Nimmt man ausserdem mehrere Messungen an verschiedenen Stellen des Mikrometers vor und zieht daraus das Mittel, so erhalten die daraus gewonnenen Vergrösserungsziffern einen hohen Grad von Verlässlichkeit.

Hätte man z. B. nach einer der angegebenen Messungsweisen gefunden, dass für verschiedene Combinationen von Objectiv *D* (Zeiss) mit den Ocularen Nr. 1 bis 5 je 0,05 mm des Objectivmikrometers je 18, 23,8, 32.59.8, 57,6 mm des in einem Abstande von 50 cm befindlichen Maassstabes decken, so würden die Vergrösserungen auf 250 mm bezogen sein:

$$\frac{18}{0,05} \cdot \frac{1}{2} = 180, \; \frac{23,8}{0,1} = 238, \; \frac{32}{0,1} = 320, \; \frac{39,8}{0,1} = 398 \text{ und}$$

$$\frac{57,6}{0,1} = 576.$$

Diese Methode ist insofern unbequem und zeitraubend, als man dabei für jede einzelne Combination der verschiedenen Objectivsysteme mit den verschiedenen Ocularen dieselbe Arbeit zu wiederholen hat und ausserdem führt sie noch einige Ungenauigkeiten mit sich.

Aus diesen Gründen wurde denn auch schon bald nach Erscheinen der Jaquin'schen Abhandlung von Ettingshausen eine Verbesserung vorgeschlagen (Baumgärtner's und Ettingshausen's Zeitschrift V. 1829, S. 316), welche weit bequemer und namentlich auch für die stärkeren Vergrösserungen mit mehr Sicherheit zum Ziele führt. Ettingshausen ging dabei von dem Grundgedanken aus, dass sich die Vergrösserungen, welche die verschiedenen Objectivsysteme mit demselben Oculare geben, nahezu genau umgekehrt verhalten wie die wirklichen Längen, welche bei diesen verschiedenen Objectivsystemen gleich gross erscheinen, oder, was dasselbe ist, deren Bilder den gleichen Raum des Sehfeldes einnehmen. Demgemäss schlug er vor, für sämmtliche Oculare eines Mikroskopes nur diejenigen Vergrösserungen $[N]$ $[N]_1$ .... $[N]_k$ direct zu messen, welche dieselben mit nur einem zu dieser Messung am besten geeigneten Objectivsysteme geben, und daraus diejenigen N bis N_k^m, welche sie mit den übrigen Objectivsystemen gewähren, durch Rechnung zu bestimmen. Zu dem Ende muss das Sehfeld des Mikroskopes in der Art beschränkt werden, dass sein Randtheil ausgeschlossen wird, was entweder dadurch geschehen kann, dass man in das Ocular eine geschwärzte Blendung mit enger Oeffnung oder einen Ocularmikrometer einlegt und den Raum zwischen zwei wenig und gleichweit von der Mitte des Gesichtsfeldes abstehenden Theilstrichen in Betracht zieht. Zählt man dann die Abtheilungen eines Mikrometers ab, welche bei der Anwendung eines bestimmten Objectivsystemes den so begrenzten Theil des Sehfeldes eines Oculares einnehmen, und dividirt mit ihrer Zahl Z, Z^1, Z^m in das Product aus den nach der ersten Methode gefundenen Vergrösserungsziffern des der Messung zu Grunde gelegten Objectivsystemes und der Anzahl von Mikrometerabtheilungen, welche bei diesem das in gleicher Weise eingeengte Sehfeld des gleichen Oculares einnahmen, so erhält man die Vergrösserungsziffer der in Rede stehenden Combination nach der Formel

$$N = \frac{Z \, . \, [N_k]}{Z^m}$$

Man ersieht hieraus, dass man hier aus den Z und N, d. h. aus den Quotienten

$$\frac{Z}{Z^{1}}, \frac{Z}{Z^2} \cdots \frac{Z}{Z^m{}_1} \quad \text{und} \quad \frac{[N]^1}{[N]} \cdots \frac{[N]^m}{[N]}$$

die Verhältnisszahlen für die Objectiv- und Ocularvergrösserungen *V*... und *v*... bestimmen und dann die verschiedenen Vergrösserungen berechnen kann. Damit ist man denn auf die von Pohl (Berichte der K. K. Akademie d. W. zu Wien, mathematisch-naturwissenschaftliche Classe, Bd. XI, S. 504 u. f.) vorgeschlagene Vereinfachung der Ettingshausen'schen Methode gekommen.

Wären z. B. für die Systeme *aa* — *F* von Zeiss auf 10 Theile eines Ocularmikrometers je 34, 17, 10, 6,5, 3,8, 2,6 und 1,7 Theile eines Objectivmikrometers gezählt [1]) und die Vergrösserungen der Oculare Nr. 1 bis 5 mit System *B* zu 73, 92, 130, 158 und 226 gefunden worden, so würden daraus die Verhältnisszahlen

1 : 2 : 3,4 : 5,22 : 8,9 : 13,1 : 20

für die Objectivsysteme und

1 : 1,26 : 1,8 : 2,17 : 3,1

für die Oculare hervorgegangen sein, woraus die Vergrösserungen für die Systeme *D* und *F* sich berechneten zu

Objectiv	Ocular 1	Ocular 2	Ocular 3	Ocular 4	Ocular 5
D	192	242	342	416	595
F	430	541	765	930	1330

Diese Abänderung der Jaquin'schen Methode, obwohl weit bequemer und sicherer, namentlich auch für das Auge weniger anstrengend als die ursprüngliche, leidet indessen immerhin noch an einigen Mängeln. Verfährt man indessen mit äusserster Sorgfalt, so dürfte wohl kaum auf irgend eine andere Weise der directen Bestimmung der Vergrösserung eine grössere Sicherheit und Verlässlichkeit erreicht werden, als es bei diesem Verfahren möglich ist.

Zum Schlusse sei noch besonders auf einige Vorsichtsmaassregeln hingewiesen, welche man bei den directen Messungen, die ja immer die Grundlage der ganzen Arbeit bilden, zu beobachten gut thun wird.

Erstens verfahre man, um diejenigen Fehler zu umgehen, welche etwa vorkommende Unterschiede in dem Werthe der einzelnen Abtheilungen des zur Messung verwendeten Mikrometers veranlassen können, so, dass man nicht eine, sondern mehrere Gruppen von verschiedenen Stellen des Mikrometers misst und dann aus den verschiedenen Messungen das Mittel zieht. Auch ist es nothwendig, sich zu überzeugen, ob die getheilte Maasseinheit nicht abweicht, so dass z. B. mehr oder weniger

---

[1]) Diese Zahlen geben zugleich die Maasszahlen des in $^1/_{10}$ mm getheilten Ocularmikrometers (in einem Huyghens'schen Oculare) in Mikron (μ) ausgedrückt (siehe viertes Buch, Abschnitt IV).

als 1 mm getheilt wäre. Da der relative Fehler, welcher aus einer solchen Abweichung entspringt, immer der gleiche bleibt, so können aus ihm Unterschiede von grossem absolutem Betrage nur für die stärkeren Vergrösserungen hervorgehen. Wäre z. B. statt eines vollen Millimeters nur 0,95 mm getheilt, so würde die Differenz zwischen dem wahren und dem gefundenen Werthe für eine Gruppe von 5 Abtheilungen = 0,0025 mm sein, was bei einer Linearvergrösserung von 1000 schon von erheblicher Bedeutung sein und eine wirklich 1000fache Vergrösserung auf eine 975fache herabdrücken würde, ein Fehler, welcher die durch die verschiedenen Methoden gefundenen Differenzen bedeutend überschritte.

Zweitens hat man die Breite der Theilstriche gehörig zu berücksichtigen und zu beachten, dass der Werth einer Abtheilung nicht durch die einander gegenüberliegenden Ränder derselben, sondern durch deren Mitte oder deren gleichliegende (linke oder rechte) Ränder bestimmt wird.

Drittens muss man sich daran gewöhnen, das Auge während des Vergleichens der sich deckenden Maasseinheiten oder während des Zeichnens der Mikrometerabtheilungen ganz ruhig zu halten. Denn bewegt sich dasselbe um seine Querachse nach rechts oder links, so finden immer in der Lage des Mikrometerbildes Verschiebungen statt, welche zu bedeutenden Fehlerquellen werden können.

Endlich hat man — worauf schon früher hingewiesen wurde — darauf zu achten, dass man nur die Theile des Bildes zur Messung verwendet, welche nahe an der Mitte des Gesichtsfeldes liegen. Zu diesem Zwecke ist eine einfache geschwärzte Blendung mit einer Oeffnung von 2,5 bis 3 mm ganz gut. Mittelst ihrer kann man, durch Auflegen auf die Blendung des Oculares, das Sehfeld in dem gewünschten Grade beschränken.

III. Directe Prüfung des Mikroskopes.

1. Allgemeine Grundsätze.

107 Geben auch die im Vorausgehenden beschriebenen Ermittelungen der Grundfactoren des optischen Vermögens in ihren Resultaten vollständig ausreichende, sichere Anhaltspunkte zur Beurtheilung des mehr oder minder hohen Grades der Leistungsfähigkeit eines Mikroskopes, so sind dieselben doch namentlich für den noch weniger Geübten theilweise etwas umständlich, um entweder kurzerhand mit der nöthigen Sicherheit über die praktische Brauchbarkeit des optischen Apparates zu entscheiden oder verschiedene Instrumente rasch mit einander zu vergleichen. Es darf daher eine unmittelbare Prüfung des optischen Vermögens und einiger

anderer Eigenschaften des Mikroskopes: des Begrenzungs- und Auflösungsvermögens, der Grösse, Färbung und Ebenflächigkeit des Sehfeldes und der gleichmässigen Vergrösserung des Bildes in seiner ganzen Ausdehnung in Beziehung auf bestimmte, durch die Erfahrung festgestellte, dem jezeitigen Standpunkte und den Fortschritten der praktischen Optik entsprechende, dieser Bestimmung als Maassstab zu Grunde gelegte Objecte, sogenannte Probeobjecte[1]), hier nicht umgangen werden.

Bei der Prüfung eines Mikroskopes auf sein Begrenzungs- und Auflösungsvermögen hat man alle Vorsichtsmaassregeln zu beachten, welche bei schwierigen mikroskopischen Untersuchungen überhaupt in Anwendung kommen, und verweise ich daher, um Wiederholungen zu vermeiden, auf die dahin bezüglichen Stellen dieses Werkes. Nur einige kurze Bemerkungen möchte ich vorausschicken, welche meiner Erfahrung gemäss besondere Beachtung verdienen. Zunächst ist zu einer derartigen Untersuchung einzig und allein die normale Beleuchtungsweise mittelst Tageslichtes zu verwenden und nicht etwa zu künstlicher Beleuchtung Zuflucht zu nehmen. Zwar werden in Bezug auf die natürlichen Probeobjecte für das Auflösungsvermögen bei künstlicher Beleuchtung mittelst des durch blaue Gläser u. dergl. hervorgerufenen fast homogenen blauen Lichtes, wie aus dem Früheren hervorgeht, günstigere Resultate für das Instrument erzielt, diese aber sind für uns durchaus nicht maassgebend, da das Mikroskop als wissenschaftliches Beobachtungsinstrument für den Tag und nicht für die Nacht bestimmt ist und solche Fälle, wo man es zu letzterer Tageszeit gebraucht, immer Ausnahmen sein und bleiben werden. Ferner hat man darauf zu achten, dass man die Prüfung bei möglichst gleichmässigem Lichte vornimmt. Am geeignetsten habe ich hierzu stets einen ununterbrochen mit hellen Wolken bedeckten, gleichsam mit einem dünnen, leuchtenden Wolkenschleier überzogenen Himmel gefunden. Das Licht ist dabei nicht allein vollkommen gleichmässig, es besitzt auch hinreichende Intensität, um alle erforderlichen Abstufungen in der Beleuchtung der Probeobjecte zu erzielen. Nach einem derartig beschaffenen ziehe ich einen rein blauen Himmel in den Morgen- und Nachmittagsstunden vor, in denen im Sommer die Sonne noch nicht hoch über dem Horizonte steht. Niemals sollte man eine derartige Arbeit bei zerrissen bewölktem oder grauem Himmel vornehmen, da im ersteren Falle die Beleuchtung zu sehr wechselt, und bei einigermaassen schwierigen Objecten das Auge stark ermüdet, im anderen Falle aber für die stärkeren Objectivsysteme das Licht nicht mehr ausreicht, um deren volle optische Kraft auszubeuten. Was endlich die Art der Beleuchtung be-

---

[1]) Der geübte Mikroskopiker wird, wenn es nicht auf genauere Vergleichung mehrerer Instrumente ankommt, sondern wenn es bloss gilt, die Brauchbarkeit zur Beobachtung überhaupt zu ermitteln, allerdings kaum zu einer so ausgedehnten Prüfung zu schreiten brauchen, um sein Urtheil festzustellen. Ihm wird schon die Betrachtung eines einzigen Präparates aus der thierischen oder pflanzlichen Histiologie dazu ausreichen.

trifft, so ist bei der hier ins Auge gefassten Art der Prüfung des Begrenzungsvermögens nur die centrale Beleuchtung zu empfehlen. Auch bei der Prüfung des Auflösungsvermögens gebe man dieser normalen Beleuchtungsweise den Vorzug. Man prüfe erst die Kraft seiner sämmtlichen Objective in dieser Weise und schreite erst dann zur schiefen Beleuchtung, wenn man sich darüber unterrichten will, wie weit die äusserste Grenze des Auflösungsvermögens gesteckt ist, oder welchen Einfluss der schiefe Lichteinfall auf die Anordnung der Beugungsspectren in dem stets zu controlirenden Oeffnungsbildchen und damit auf die Aenderung der Ansicht schwieriger Probeobjecte äussert. Soll ich Gründe für dieses Verfahren anführen, so werden wohl folgende drei ausreichen. Erstens ist die centrale zugleich die normale Beleuchtungsweise für die meisten wissenschaftlichen Untersuchungen, während die schiefe nur in einzelnen Ausnahmefällen mit nennenswerthem Vortheile in Anwendung kommt. Es ist daher von der grössten Wichtigkeit zu wissen, bis zu welchem Grade man sich bei dem regelrechten Gebrauche auf sein Instrument verlassen kann. Zweitens hängen die Resultate der Prüfung bei schiefem Lichte zu oft von einzelnen Umständen, wie Spiegelstellung und dergleichen, ab, so dass man sich bei sehr schwierigen Objecten oft vergeblich bemüht, eine gewisse Ansicht zu gewinnen, die ein anderes Mal der Zufall ohne Weiteres in die Hände spielt. Drittens ändert sich, wie die verschiedenen Zeichnungen, die über das einzige Pleurosigma angulatum vorliegen, und welche mannigfache Streitigkeiten über die wahre Beschaffenheit seiner Oberflächenstructur hervorgerufen haben, genügend lehren, die Zeichnung der Probeobjecte mit dem Wechsel in der Richtung der Lichtstrahlen und der damit Hand in Hand gehenden Umlagerung der in Wirksamkeit tretenden, bilderzeugenden Lichtkegel in mancherlei Weise und bedingt, dass der Eine die, der Andere jene Zeichnung für diejenige erklärt, bei welcher ein Objectivsystem seine volle Leistungsfähigkeit entfalte.

108

Um allgemeine, annähernd gültige Anhaltspunkte zu gewinnen für den Grad des Auflösungsvermögens, welches neben dem nie und für keine Classe von Objectivsystemen ausser Acht zu lassenden vollkommenen Begrenzungsvermögen etc. zu verlangen ist, scheint es mir geeignet, nach dem Vorgange Carpenter's die verschiedenen Objectsysteme je nach dem Zwecke, dem sie zu dienen haben, zu gruppiren, und dabei die entsprechenden Probeobjecte aufzuführen, welche den Maassstab zu ihrer Beurtheilung abgeben können.

Sieht man von einzelnen Nebenzwecken ab, so lassen sich die Objectivsysteme von den niedersten bis zu den höchsten Graden der Stärke in drei Gruppen bringen.

Die erste Gruppe umfasst alle diejenigen Objectivsysteme, welche vorzugsweise zur Betrachtung undurchsichtiger Gegenstände mittelst auffallenden Lichtes, sowie zur Untersuchung solcher durchsichtiger Ob-

jecte und Präparate gebraucht werden, deren zu beobachtende Structurverhältnisse im Allgemeinen eine verhältnissmässig erhebliche Grösse besitzen, oder bei denen man sich eine allgemeine Uebersicht nur der gröberen Structureinzelheiten und der räumlichen Gestaltung, also eine gleichzeitig deutliche Anschauung in verschiedenen Ebenen oder Schichten des Präparates verschaffen will. Es gehören dahin die Objectivsysteme von 75 bis zu etwa 15 mm Brennweite und 0,10 bis 0,20 und 0,25 numerischer Apertur (10° bis 25° und 30° Oeffnungswinkel), welche mit den schwächsten Ocularen, eine 10- bis 50 malige, mit den stärkeren aber eine etwa doppelt so starke Vergrösserung gewähren. Für diese Gruppe von Objectivsystemen kommt namentlich vollkommenes Begrenzungsvermögen, grosse Sehtiefe und vollständige Farbenfreiheit in Betracht, während das Auflösungsvermögen in nur mässigem Grade entwickelt zu sein braucht. Zur Prüfung des Begrenzungsvermögens dieser Systeme eignen sich als Objecte für auffallendes Licht bei dunklem Grunde namentlich die Pollenkörner der Malvaceen, dann Theile von Insectenflügeln, welche mit Farbenschuppen, die man scharf begrenzt sehen muss, bedeckt sind. Für durchgehendes Licht gewähren die Tracheen der Seidenraupe und für stärkere Vergrösserungen ein dünner Längsschnitt aus dem Holze eines Nadelholzes gute Dienste. Zur Prüfung des Auflösungsvermögens der stärkeren hierher gehörigen Objectivsysteme eignen sich die Schuppen von Lepisma saccharina und die gewöhnlichen Schuppen von Pieris brassicae, dann Navicula (Pinnularia) nobilis, Navicula viridis. In dieser Beziehung genügt ein Objectivsystem zwischen 30 bis 15 mm Brennweite, wenn es die Längsstreifen auf den grösseren, länglichrunden, oder für stärkere Vergrösserungen auf den kleineren, fast kreisrunden Schuppen von Lepisma, sowie die Querstreifen auf den Kieselschalen der genannten Diatomeen zeigt.

Zur zweiten Gruppe gehören die Objectivsysteme zwischen 15 bis 4 mm Brennweite mit numerischen Aperturen von 0,20 bis etwa 0,82 (25° bis 115° Oeffnungswinkel), welche mit den schwächeren Ocularen eine etwa 50- bis 200 malige, mit den stärkeren eine 150- bis 600 malige Vergrösserung geben. Diese Objectivsysteme geniessen die ausgedehnteste Anwendung zu wissenschaftlichen Untersuchungen. Sie dienen vorzugsweise zur Beobachtung durchsichtiger oder durchsichtig hergerichteter Objecte und Präparate aus der morphologischen Entwickelungsgeschichte, sowie aus der allgemeinen und vergleichenden Morphologie und Histologie des Pflanzen- und Thierreiches.

Die Ansprüche, welche von Seiten der praktischen Mikroskopiker an diese Gruppe von Objectivsystemen gestellt werden, können je nach der Beschaffenheit der der Beobachtung unterworfenen Gegenstände verschiedene sein. Auf der einen Seite kann vorzugsweise höchst entwickeltes Begrenzungsvermögen und genügende Sehtiefe mit zu bequemer Verwendung befähigendem, grossem Objectabstande und geringere Empfindlichkeit gegen die Deckglasdicke, auf der anderen grösseres Ab-

bildungsvermögen nebst möglichster Ausbeutung der förderlichen Vergrösserung durch stärkere Oculare gefordert werden. Hier ist denn auch das Verfahren angezeigt: die Objective dieser Gruppe nach beiden Gesichtspunkten in zwei Serien, die eine je nach den Brennweiten mit geringeren, 0,20 bis 0,60, die andere mit grösseren, 0,30 bis 0,82, betragenden, unter keinen Umständen aber diese Grenzen merklich überschreitenden numerischen Aperturen zu construiren, wie es von Dr. Zeiss bei seinen Systemen von *A* und *AA* an bis *D* und *DD* befolgt wird.

Als Probeobjecte für das Begrenzungsvermögen sind für die schwächeren Objectivsysteme dieser Classe die zarten Längsschnitte aus dem Wurzelholze der einheimischen Coniferen, für die stärkeren vor Allem die gewöhnlichen, auf die Unterfläche des Deckglases gebrachten und trocken eingelegten Schüppchen von Pieris brassicae und quergestreifte Muskelfasern sehr geeignet. Für das Auflösungsvermögen können, je nach der Apertur, die Schuppen von Hipparchia Janira, dann Grammatophora marina, Nitzschia hungarica, Nitzschia amphioxys, Nitzschia sigma für gerades Licht, für schiefes Licht noch ausserdem Grammatophora oceanica, Surirella gemma (Querstreifen), Nitzschia sigmoidea, Grammatophora macilenta, Nitzschia obtusa und linearis in Anwendung kommen. Gutes Begrenzungsvermögen giebt sich durch hinreichend scharfe und dunkle, dabei aber feine und zarte Begrenzungslinien der genau eingestellten Theile des betreffenden Objectes zu erkennen. In Bezug auf das Auflösungsvermögen genügt es, wenn ein Objectivsystem dieser Classe je nach seiner Stärke die Querstreifen auf den Flügelschuppen der genannten Schmetterlinge oder auf den Kieselschalen der ersterwähnten Diatomeen bei centraler Beleuchtung mit Schärfe und Klarheit löst.

In die dritte Gruppe sind alle Trockensysteme von 3 bis 2 mm Brennweite und 0,82 bis 0,85 numerischer Apertur, sowie die Systeme für homogene und Wasserimmersion von 3 bis 1 mm Brennweite einzureihen, welche mit den schwächeren Ocularen eine 300- bis 600 malige Vergrösserung gewähren, während die letztere, sofern die eine oder die andere Art der Immersion in Anwendung kommt und das Objectivsystem in jeder Beziehung vollkommen ist, durch stärkere Oculare bis zu 1000- und 2000 mal gesteigert werden kann. Diese stärksten Objectivsysteme sind von einer weit beschränkteren Anwendung als die der vorhergehenden Classe. Sie dienen vorzugsweise zu Untersuchungen hinreichend durchsichtiger, in geeigneter Weise präparirter histologischer Gegenstände, bei denen es sehr zarte kleine Ausmaasse besitzende Structurverhältnisse zu erforschen gilt, dann zu Untersuchungen über die Entwickelungsgeschichte der feineren organischen Elementartheile. Wer diese Systeme mit Vortheil gebrauchen will, der muss sich aber nicht allein mit deren immerhin nicht leichten Behandlung vertraut machen, sondern auch in der Präparation der entsprechenden Objecte die nöthige Fertigkeit erwerben. Für diese Systeme ist neben vollkommenem Begrenzungsvermögen, hohem Achromatismus, bedeutend

Lichtstärke für Trockensysteme ein der Brennweite entsprechend — aber nicht abnorm gesteigertes — hohes, für Immersionssysteme möglichst hohes Abbildungsvermögen unbedingtes Erforderniss, und in je höherem Grade dieses letztere unter vollständiger Wahrung der erstgenannten Eigenschaften entwickelt sein kann und entwickelt ist, desto höher steigt der Werth eines solchen Objectivsytemes.

Als Probeobjecte für das Begrenzungsvermögen können die Schleimkörperchen, die Primitivfibrillen der quergestreiften Muskelfasern, und vor Allem als bester Prüfstein die Schärfe der Zeichnungen auf den Flügelschuppen von Pieris brassicae, sowie auf den Kieselschalen scharf und nicht zu fein gezeichneter, trocken eingelegter Diatomeen dienen. Zur Prüfung des Auflösungsvermögens dienen für Trockensysteme die schwierigen Probeobjecte der vorigen Gruppe, für Immersionssysteme ausser ihnen noch Surirella gemma Grammatophora subtilissima, Navicula rhomboides var. saxonica (Frustulia saxonica) und Amphipleura pellucida.

2. Probeobjecte für das Begrenzungsvermögen.

109 Zur Prüfung des Begrenzungsvermögens dienen folgende Probeobjecte. Für auffallendes Licht auf dunklem Grunde: Stärkekörner von Solanum tuberosum, Canna indica etc., Pollenkörner, Theile von Insectenflügeln, welche mit den bekannten Farbeschüppchen bedeckt sind. Für durchgehendes Licht: Tracheen der Seidenraupe, Quer- und Längsschnitte von einer Nadelholzart, für schwächere und mittlere Systeme mit kleiner und mittlerer numerischer Apertur, die Schüppchen von Pieris brassicae, quergestreifte Muskelfasern und die sogenannten Schleim- oder Speichelkörperchen für mittlere und starke Systeme mit grösserer numerischer Apertur. Dann eine Auswahl zarter und feiner, aber stark markirt gezeichneter Insectenschüppchen und Diatomeen zur Ausführung der Abbe'schen Prüfungsmethode.

Die Stärkekörner, welche man am besten von der Kartoffel und wo möglich von den Früchten nimmt, weil diese nicht gar zu klein sind, müssen, wenn man sie mittelst auffallenden Lichtes betrachtet, von einer feinen, hellweissen, scharf abgeschnittenen Grenzlinie umgeben erscheinen und darf sich an dem scharf gezeichneten Rande durchaus kein Lichtnebel zeigen.

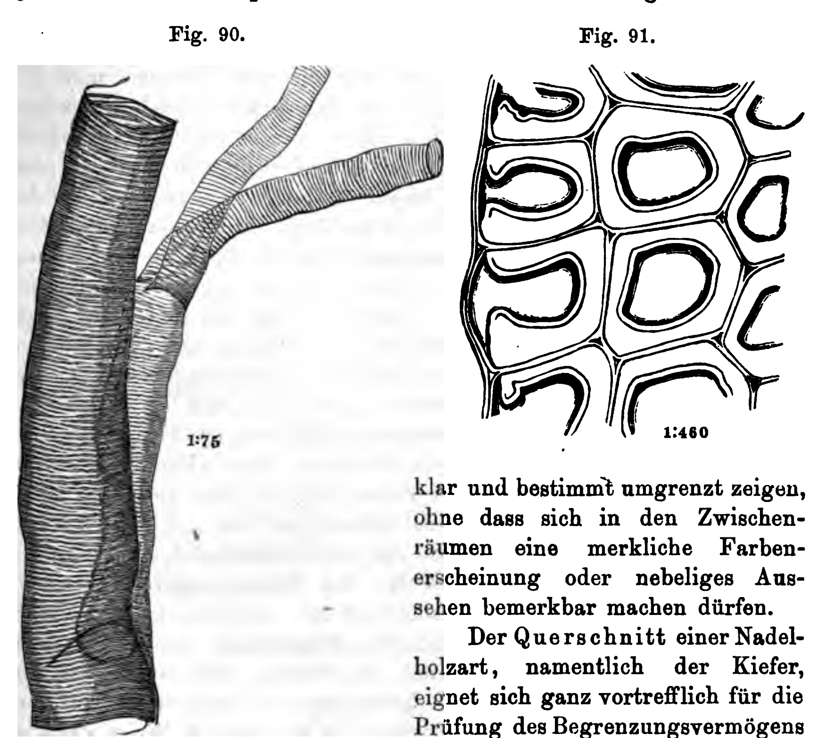
Unter den Pollenkörnern sind namentlich diejenigen vorzuziehen, deren Exine mit kleinen stachelförmigen Erhebungen besetzt ist, wie die der Malven (Althaea rosea z. B.). Die kleinen Stacheln müssen scharf abgeschnitten gesehen werden und es darf ihre Begrenzung auch bei Anwendung der stärkeren Oculare nicht an Feinheit und Schärfe verlieren, wenn ein gutes Objectivsystem zur Beobachtung gebraucht wird.

Ein sehr gutes Object für auffallendes Licht gewähren auch Theile solcher Insectenflügel, welche, wie bei den Schmetterlingen, bei dem

Diamantkäfer (Curculio imperialis), dem Birnenrüsselkäfer (Cur. Pyri) und anderen dieser Familie mit kleinen Schüppchen bedeckt sind. Jene Schüppchen müssen scharf umgrenzt und deutlich abgehoben erscheinen.

Die Tracheen der Seidenraupe (Fig. 90) bilden ein recht brauchbares Probeobject und können die Hauptäste zur Prüfung schwächerer, die immer feiner und zarter werdenden Verzweigungen derselben zur Prüfung der stärkeren Vergrösserungen verwendet werden. Gute Systeme müssen die Spiralbänder deutlich von einander getrennt sowie

Fig. 90. Fig. 91.



klar und bestimmt umgrenzt zeigen, ohne dass sich in den Zwischenräumen eine merkliche Farbenerscheinung oder nebeliges Aussehen bemerkbar machen dürfen.

Der Querschnitt einer Nadelholzart, namentlich der Kiefer, eignet sich ganz vortrefflich für die Prüfung des Begrenzungsvermögens und bietet namentlich die Schärfe, Reinheit und Feine der Grenzlinien des aus der Cambialwandung und den primären Zellstoffhüllen gebildeten Netzwerkes, sowie der inneren secundären Verdickungsschicht (sogenannten tertiären Membran), Fig. 90, ausgezeichnete Anhaltspunkte für die mittleren und starken Objectivsysteme.

Auf Längsschnitten von Pinus sylvestris, Abies excelsa und dergleichen Nadelholzarten, welche man am besten aus dem Wurzelholze nimmt, kommt vorzugsweise die Umgrenzung des Porencanales in Betracht. Dieselbe muss bei voller Zartheit klar und bestimmt hervortreten und namentlich bei enger Blendung eine deutlich blaue Färbung zeigen, wenn das Objectiv chromatisch gut corrigirt sein, also bei schiefem Lichte

nicht breite primäre Farbensäume geben und gerechten Anforderungen entsprechen soll. Ich finde dieses Probeobject nicht allein für die schwächeren Systeme, sondern auch für die stärkeren, namentlich aber für diejenigen der zweiten Gruppe sehr geeignet, indem das Bild, unter dem sich der ganze Tüpfel darstellt, einen sehr guten Anhaltspunkt zur Beurtheilung nicht nur der Correction der sphärischen, sondern auch der chromatischen Abweichung darbietet.

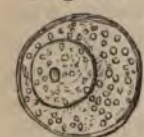
Die Schüppchen von den Flügeln des Kohlweisslings (Pieris brassicae) (Fig. 92) und zwar die etwa gleich breiten, mit starken Längsstreifen gezeichneten können alle anderen ähnlicher Art (wie die von Lycaena und der schwer zu erlangenden Podura plumbea) ersetzen und geben in ihrer Zeichnung über Klarheit, Schärfe und Farbenfreiheit des von mittleren oder stärkeren Objectivsystemen entworfenen Bildes vorzüglichen Aufschluss. Gute schwächere Objective lassen auf diesen Schüppchen scharf markirte Längs- und Querstreifen erkennen, stärkere zeigen sie, sowohl auf, als zwischen den Längsstreifen, mit scharf markirten, klar gezeichneten, kreisrunden Punkten bedeckt, welche bei weniger guten Systemen mehr oder minder verschleiert oder gar zusammen geflossen erscheinen.

Fig. 92.



Die Schleim- oder Speichelkörperchen (Fig. 93), welche man leicht erhält, wenn man mit einem Scalpell oder sonstigen nicht ganz scharfen Messerchen an dem Zahnfleisch, der Innenseite der Wangen oder über den Rücken der Zunge hinstreicht, gewähren ein sehr schönes Object für das Begrenzungsvermögen der stärkeren und stärksten Systeme. Es kommt dabei hauptsächlich auf die scharfe Begrenzung im Allgemeinen sowohl, als namentlich des Kernes und der kleinen, in Molecularbewegung befindlichen Inhaltskörperchen an, welche nur mit recht guten Systemen in genügender Weise erkannt werden können.

Fig. 93.

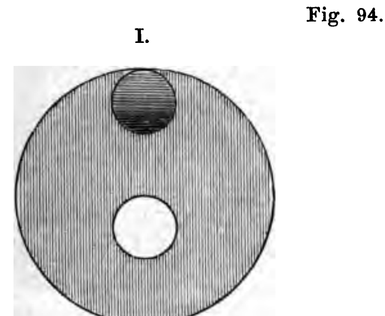


110 Die Prüfung des Begrenzungsvermögens mittelst der voranstehend beschriebenen Probeobjecte giebt hinreichend sichere Anhaltspunkte über die Art, in welcher ein Objectivsystem gewisse, den letzteren gleiche oder ähnliche Structurverhältnisse zu zeichnen vermag, welche in der Regel nur die mittleren Theile der freien Oeffnung stärker, die Randzone dagegen nur verhältnissmässig schwach in Anspruch nehmen, und erlaubt insofern eine annähernd ausreichende Beurtheilung für gewisse Gebrauchszwecke. Dagegen reicht sie nicht vollkommen aus, wenn es darauf ankommt, die Bedingungen für das richtige Zusammenwirken von Strahlenbüscheln zu erproben, welche verschiedene Theile der freien

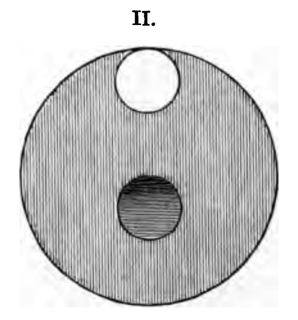
Oeffnung durchlaufen und dieselben etwa gleichmässig in Thätigkeit setzen. Hier ist die von Professor Abbe vorgeschlagene, im Wesentlichen der auf S. 173 u. f. beschriebenen nahe kommende, aber rascher und leichter ausführbare Prüfungsmethode mittelst einer Anzahl der gewöhnlichen Probeobjecte in Anwendung zu bringen. Wählt man dabei das betreffende Object von solcher Feinheit des Details, dass das zu prüfende Objectivsystem dasselbe bei rein centraler Beleuchtung eben sichtbar macht, bei schiefer aber ohne alle Schwierigkeit löst, so kann damit ohne weitere Hülfsmittel der empfindliche Strahlengang im Mikroskope herbeigeführt werden. Die Lage des directen Lichtbüschels und des einen ersten Beugungsbüschels oder des Bildes der Lichtquelle und des einen ersten Einzelspectrums in der Austrittspupille des Objectivsystemes gewinnt nämlich in diesem Falle — wie die unmittelbare Beobachtung der Lichtspuren durch Hineinsehen in den offenen Tubus zeigt — ein solches Verhältniss zu der Oeffnung, dass bei zwei bestimmten Stellungen des Spiegels Theile aller Zonen der freien Oeffnung, jede durch einzelne Steifen vertreten, wirksam werden und zwar unter Um-

Fig. 94.

I.



II.



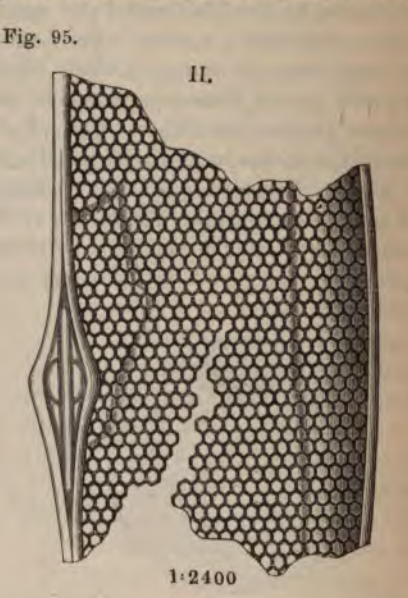
ständen, welche das Hervortreten der Correctionsmängel besonders begünstigen. Die eine dieser beiden Stellungen erhält man, wenn man den Spiegel senkrecht zu einem Streifensysteme des in Verwendung kommenden Objectes so weit aus der Achse bringt, dass der eine Rand desselben ungefähr in diese trifft. Die Spur des ungebeugten Lichtbüschels erscheint dann in dem Oeffnungsbildchen etwas excentrisch mit seinem Rande gerade dessen Mitte berührend, die Spur des Beugungsbüschels auf der gegenüberstehenden Seite in der Randzone (Fig. 94 I.). Die andere, d. h. diejenige der möglichst schiefen Beleuchtung, welche das System ohne merkliche Verdunkelung des Gesichtsfeldes gestattet, ist herbeigeführt, sobald beide Spuren ihre Stellung vertauscht haben, wenn also diejenige des ungebeugten Lichtbüschels in die Randzone, das Beugungsspectrum dicht an die Mitte getreten ist (Fig. 94 II.). In beiden Lagen hat man, wenn nur ein Streifensystem vorhanden ist, zur Abbildung zwei gesonderte Lichtbüschel wirksam, welche einen Theil der Mittel- und einen Theil der Randzone der freien Oeffnung, aber beide

auf entgegengesetzter Seite der Achse, in Thätigkeit setzen. Enthält das Object mehrere gleichartige Streifungen, so treten zwar noch Theile anderer Beugungsbüschel in das Objectivsystem ein, aber es wird dadurch an den vorher betrachteten Verhältnissen nichts Wesentliches geändert.

Bei diesem Verfahren hat man die ein- und demselben Theile des Objectes angehörigen Theilbilder, d. h. das Bild der gröberen Structur, die Contouren und das Bild der feineren Structureinzelheiten neben einander. Liegen nun in dem Objecte beide Structurverhältnisse in der-

Fig. 95.





selben Ebene, so müssen deren Bilder bei ein- und derselben Einstellung sowohl jedes für sich vollkommen scharf gezeichnet hervortreten, als auch beide zugleich ohne Niveaudifferenz und ohne seitliche Verschiebung zusammenfallen, Fig. 95 II. Besteht ein Objectivsystem diese Probe wenigstens in der Mitte des Sehfeldes, so wird dasselbe bei jeder beliebigen Art der Beleuchtung von jedem beliebigen Objecte stets richtige Bilder liefern. Zeigt sich dagegen bei Einstellung auf die Umrisse das Detail als scheinbar über oder unter dem Objecte schwebend, oder seitlich über jene hinüberfliessend, so lässt sich aus diesem Befunde schliessen, dass die Construction des Objectivsystemes keine Gewähr dafür biete, dass bei seinem Gebrauche an beliebigen Objecten die zusammengehörigen Structurmerkmale auch als zusammengehörige kenntlich gemacht werden.

Abweichungen der gedachten Art wird man bei Objectivsystemen von grossem Oeffnungswinkel und wenn der Gesichtswinkel des Oculares nicht ungewöhnlich klein ist, stets nach dem Rande des Gesichtsfeldes hin wahrnehmen; doch entspringen dieselben meistens nicht aus den die Abbildung unbedingt schädigenden Abweichungsfehlern, sondern aus Differenzen der Vergrösserung, welche bei den besten Constructionen unvermeidlich sind, und es bemisst ihr mehr oder minder starkes Hervortreten die Vollkommenheit der Abbildung ausser der Achse.

Die an dem Umrissbilde haftenden Farbensäume, welche bei dieser Prüfungsmethode auftreten, geben die weiteren Anhaltspunkte zur Beurtheilung der Güte eines Objectivsystemes und es sollen dieselben schmale, scharfe, den secundären Farben angehörige, nicht breite oder verwaschene, primäre Farben zeigende sein. Indessen ist zu bemerken, dass dieselben beim gewöhnlichen Gebrauche des Mikroskopes sich nur dann störend geltend machen, wenn sie bei centraler Beleuchtung hervortreten.

Die zu verwendenden Probeobjecte, welche hier nicht in unverletzten Exemplaren, sondern in Bruchstücken zu verwenden sind, die sich meist in allen gebräuchlichen Präparaten finden, oder leicht herstellen lassen, müssen vor allen Dingen folgenden zwei Anforderungen genügen. Sie müssen erstlich so dünn und so eben sein, dass man das Bild der in Betracht kommenden Contouren und der feinen Structur als in einer Ebene liegend ansehen kann, zweitens müssen die abgebeugten Strahlenbüschel eine grosse Lichtstärke haben, damit die von ihnen herrührende Wirkung neben derjenigen der weniger abgebeugten ausreichend zur Geltung kommen kann. Mit Rücksicht auf diesen letzten Punkt eignen sich daher nur trocken eingelegte Objecte mit scharf ausgeprägter Zeichnung, welche recht lichtstarke Beugungsspectren geben. Für die schwächeren und mittleren Objectivsysteme können die schon früher besprochenen Schüppchen des Kohlweisslings (Pieris brassicae), dann die Kieselschalen gröber gezeichneter Diatomeen, z. B. von Achnanthes brevipes Ag., Cocconeis Scutellum Ehrbg , Navicula didyma Kütz., dienen. Für stärkere Trockensysteme, bei denen vorzugsweise auch die erste Anforderung in Betracht kommt, gewährt das später zu besprechende Pleurosigma balticum für numerische Aperturen von etwa 0,65 bis 0,80, die grossen gröber gezeichneten Schalen des Pleurosigma angulatum (Fig. 95) bei numerischer Apertur von über 0,80 vortreffliche Objecte. Den numerischen Aperturen der Immersionssysteme entsprechen die feiner gezeichneten Schalen der kleinen Exemplare von Pleurosigma angulatum.

Bei allen diesen Objecten darf man indessen nicht die natürlichen Ränder oder die Mittelrippe in Betracht ziehen. Man muss vielmehr stets das Bild in der Nähe von reinen und scharfen Bruchrändern beobachten.

3. Probeobjecte für das Auflösungsvermögen.

Als Probeobjecte für das Auflösungsvermögen dienen vorzugsweise die Schüppchen von den Flügeln verschiedener Insecten und die Kieselschalen einiger Diatomeenarten aus den Gattungen Navicula, Grammatophora, Pleurosigma, Nitzschia u. A.

111 Die Schüppchen von dem Körper einiger ungeflügelter Geradflügler (Thysanuren) sowie von den Flügeln gewisser Schmetterlinge, welche noch vielfach im Gebrauch sind und deshalb hier nicht übergangen werden dürfen, eignen sich vorzugsweise zur Prüfung solcher Mikroskope, deren Objectivsysteme der ersten Gruppe und den Nummern der zweiten mit grösseren Brennweiten oder kleinerer numerischer Apertur angehören.

Das Detail der Structurmerkmale, worauf es bei diesen Objecten ankommt, bilden die auf ihrer Oberfläche vorkommenden Längs- und Querstreifen, von denen die ersteren, am weitesten von einander entfernten und am stärksten markirten, für die schwächeren, die letzteren, weit mehr einander genäherten und feiner gezeichneten aber für die stärkeren Systeme der genannten Gattung gebraucht werden können.

Die Längsstreifen werden durch Erhebungen der Oberfläche gebildet, zwischen denen muldenförmige Vertiefungen verlaufen, so dass die Schüppchen auf dem Querschnitte ein wellenförmiges Ansehen gewinnen. Sie erscheinen bei schwächeren Vergrösserungen und namentlich bei schiefem Lichte, welches senkrecht zu ihrer Längsachse einfällt, scharf von zwei Linien begrenzt. Bei stärkeren Vergrösserungen dagegen und centraler Beleuchtung nehmen sie unter einem gut definirenden Objectivsysteme ein gezähntes Aussehen an, indem dann die in gleicher Ebene liegenden und mit ihnen zugleich im Focus befindlichen Theile der Querstreifen mit zur Anschauung gelangen, wodurch sie an diesen Stellen etwas verdickt erscheinen.

Die Querstreifen verlaufen bei den meisten Schüppchen in senkrechter, bei anderen in schiefer Richtung zu der Achse der Längsstreifen, sowohl über die Kuppen dieser, als über die Zwischenräume, ohne von ersteren unterbrochen zu werden und nehmen je nach dem beabsichtigten oder unbeabsichtigten Wechsel in der Richtung des Beleuchtungskegels und der dadurch hervorgerufenen Aenderung in der Lage der wirksamen Spectra ein verschiedenes Aussehen an, indem die feinere Structur wie geperlte Zeichnung mit zarter aber scharfer Begrenzung (siehe Fig. 92) erscheint und zugleich einige neue Streifensysteme hervorrufen kann (Fig. 99).

Die Schüppchen, welche den ganzen Körper von Lepisma saccharina, einem unter Leinen, Papier und Zucker, sowie an feuchten Brettern oft in zahlloser Menge auftretenden kleinen Insecte aus der oben

genannten Gruppe, bedecken und dessen perlmutterartigen Glanz hervorrufen, sind von zweierlei Art. Die grösseren (Fig. 96 sind länglichrund bis keilförmig und enthalten auf 10 μ 4 bis 5 Längsstreifen, welche zwar schon bei einer schwachen, etwa 20- bis 30 maligen Vergrösserung gesehen werden können, aber der Durchsichtigkeit des Objectes und der scharfen Zeichnung der Streifen halber ein ganz gutes Probeobject für die schwächsten Objective darbieten, namentlich, wenn man auch die Schärfe und Klarheit des Bildes richtig beachtet. Die kleineren (Fig. 97) sind fast kreisrund, sehr durchsichtig, enthalten 7 bis 8 Längsstreifen auf 10 μ und sind sehr geeignet zur Prüfung etwa 100 facher Vergrösserungen.

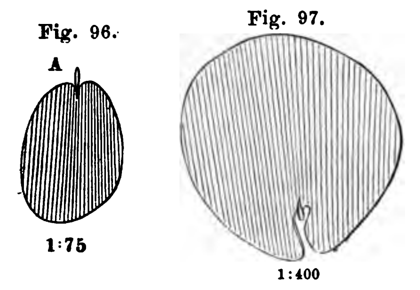


Fig. 96. Fig. 97.

Hipparchia Janira ist ein fast überall in unserem Vaterlande gemeiner Wiesenschmetterling, der namentlich während der Monate Juli und August fliegt, zu welcher Zeit man ihn sich leicht verschaffen kann. Als Probeobject dienen vorzugsweise die hellgefärbten Schuppen von den Flügeln des Weibchens (Fig. 98), welches sich von dem Männchen leicht durch seine Grösse, sowie durch ein grösseres ockergelbes bis rothes Feld unterscheidet, in welchem der Augenfleck steht. Die Längsstreifen, von denen 4 bis 5 auf 0,01 mm kommen, sind etwa von gleicher Schwierigkeit, wie die auf den grösseren Schüppchen von Lepisma saccharina. Von den Querstreifen gehen 10 bis 12 auf 0,01 mm und können zur Prüfung von 200- bis 300 fachen Vergrösserungen dienen. Bei diesen schwächeren Vergrösserungen sowie bei senkrecht gegen sie einfallendem schiefem Lichte erscheinen dieselben als scharfe Linien. Betrachtet man die Schüppchen aber mittelst stärkerer Objectivsysteme, so stellen sich die Querstreifen, welche sowohl über die erhabenen Längslinien als über die Zwischenräume verlaufen, wie gezähnt dar (Fig. 99) und man erkennt, wie sich dieselben in Form von parallelen Reihen kleiner, viereckig und an den Ecken mehr oder weniger abgerundet oder rundlich erscheinen-

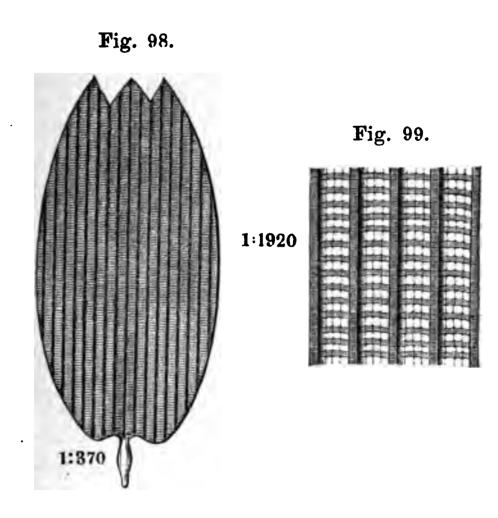


Fig. 98. Fig. 99.

der Körperchen darstellen. Entsprechend auffallendes schiefes Licht bringt die zarten Längsstreifen oder diagonalen Streifen zur Anschauung.

112 Die Kieselschalen der Diatomeen sind namentlich von England aus, wo sich eine namhafte Zahl von Mikroskopikern mit besonderer Vorliebe dem Studium ihrer Oberflächenbeschaffenheit widmeten, als Probeobjecte empfohlen worden. Im Allgemeinen sind sie in dieser Beziehung den Insectenschuppen weit vorzuziehen, da sie, gehörig zubereitet, einestheils weit durchsichtigere Objecte bilden, auf denen die entsprechenden Zeichnungen mit mehr Bestimmtheit und Schärfe hervortreten, anderentheils diese Zeichnungen auch viel gleichmässiger sind als auf jenen. Auch hat man unter den verschiedenen Objecten dieser Classe einen grösseren Spielraum, indem dieselben eine Reihe Probeobjecte liefern, welche von den schwächsten Systemen an durch alle Zwischenstufen hindurch bis zu den stärksten und vollkommensten ausreichen.

Die Zeichnungen, welche für alle verwendeten Probeobjecte in der Gestaltung übereinstimmen und daher für unsere Zwecke allein berücksichtigt werden sollen [1]), bilden diejenigen, welche in Form von sich unter rechten Winkeln kreuzenden, scheinbaren Längs- und Querlinien auftreten und bald aus gleich grossen, bald nach der einen oder anderen Richtung in die Länge gezogenen Körperchen, „Perlchen“, gebildet erscheinen.

Ueber die Gestaltung dieser Sculpturen, namentlich der feiner gezeichneten Arten, herrschen, da sie nur die Merkmale bestimmter, die vorliegende Beugungserscheinung hervorrufender Structurverhältnisse sein können, die je nach der Anordnung der in Wirksamkeit tretenden Beugungsbüschel wechseln, Meinungsverschiedenheiten, und es haben dieselben bereits in dem Früheren ihre Erörterung und Erklärung gefunden, so dass ich hier nur auf das dort Gesagte zu verweisen brauche.

Bei Auswahl und Art des Einschlusses der in Gebrauch zu nehmenden Diatomeen kommen verschiedene Gesichtspunkte in Betracht.

Als zunächst bestimmend erscheint in Folge ihres theoretischen Zusammenhanges mit der Grenze des Auflösungsvermögens die numerische Apertur. Dieselbe bedingt vor Allem die Auswahl nach der Streifendistanz beziehentlich nach der Anzahl der auf eine bestimmte Maasseinheit, hier 10 μ (0,01 mm), kommenden Streifen. Ferner erfordert sie, dass, um vergleichbare Resultate zu erzielen, auf die ausreichende absolute und verhältnissmässig gleichscharfe Markirung der in den betreffenden Structuren hervortretenden Zeichnung, auf das in dieser Beziehung

---

[1]) Aus dem genannten Grunde sind die vielfach gebräuchlichen Pleurosigmen, wie formosum, angulatum etc., mit unter schiefen Winkeln sich kreuzenden Streifensystemen nicht in die folgende Reihe aufgenommen, obwohl das Seite 194 abgebildete Pleurosigma angulatum recht gut als Probeobject für die Objective mit 0,70 bis 0,80 numerischer Apertur für gerades, für solche mit 0,55 bis 0,60 numerischer Apertur für schiefes Licht Anwendung finden kann.

sich geltend machende Verhalten der Kieselschalen verschiedener Diatomeenarten gegen das zu wählende Einschlussmittel, sowie auf die Art des Einschlusses, welche gemäss der im Vorausgehenden besprochenen Verhältnisse der Constructionsformen der Objectivsysteme — ob sie Trockensysteme oder Immersionssysteme sind — von Bedeutung wird, Bedacht genommen werde.

Da nicht für jede kleinere Abweichung in dem Zahlenwerthe der numerischen Apertur ein besonderes Probeobject aufgestellt und damit deren Zahl allzusehr vermehrt werden kann, so muss man sich nach dieser Richtung hin etwa nach der mittleren numerischen Apertur der am meisten im Gebrauch befindlichen Abstufungen von Objectivsystemen richten und kann sich dann mit einer geringeren Anzahl derselben begnügen, deren Streifenanzahl zwischen 6 bis 40 (feinere Streifungen sind zur Zeit nicht bekannt) auf 10 μ (0,01 mm) liegt.

Was das Verhalten der Kieselschalen verschiedener Diatomeenarten gegen das Einschlussmittel angeht, so ist genügend bekannt, dass es solche giebt (wie z. B. die Grammatophoraarten), bei denen die Umhüllung mit Luft die Sichtbarkeit der betreffenden Structur mehr oder weniger beeinträchtigt, während dieselben bei Einschluss in ein stärker brechendes Mittel klar hervortritt. Auf der anderen Seite finden sich Arten (z. B. manche Pleurosigmen etc.), bei denen der Einschluss in Canadabalsam etc. die Sichtbarkeit stärker herabdrückt, als dies den sonstigen Verhältnissen nach erwartet werden dürfte. Demgemäss müssen in dieser Beziehung auf Grund der Erfahrung oder von Versuchen die entsprechenden Arten so gewählt werden, dass bei gleicher Einschlussweise die Stufenfolge der Lösbarkeit nur durch den Streifenabstand, beziehentlich die Streifenzahl auf 10 μ bedingt wird.

Die Art des Einschlusses kann mit Bezug auf die oben erwähnten Umstände eine verschiedene sein, d. h. es können verschiedene Einschlussmittel zur Anwendung kommen. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass die Sichtbarkeit von Structurverhältnissen, d. h. das von ihnen erzeugte Bild an Schärfe und Deutlichkeit in dem Verhältnisse ab- oder zunimmt, als sich der Unterschied zwischen den Brechungsindices von Object und Einschlussmittel vermindert oder vermehrt. Da nun der Brechungsindex der Diatomeenschalen etwa 1,43 beträgt, so sind von vornherein alle Medien ausgeschlossen, welche in ihrem Brechungsverhältnisse dieser Zahl sehr nahe kommen, wie Glycerin, wässerige Lösungen u. dergl. Man hat aus diesem Grunde, da ein anderes passendes, d. h. leicht und sicher zu behandelndes, stärker brechendes Mittel nicht vorhanden war, den Canadabalsam mit dem Brechungsindex 1,54 für weisses Licht (Fraunhofer'sche Linie E) als Einschlussmittel für solche Probeobjecte benutzt, welche als Trockenpräparate nicht geeignet erscheinen. Da jedoch hier der gedachte Unterschied nur 0,11 beträgt, so war der Grad der Sichtbarkeit, wie wohl Jedem bekannt ist, welcher derartige Objecte beobachtet hat, ein sehr mässiger. Weit geeignetere

Einschlussmittel bilden das erst neuerdings entdeckte, von mir auf Anregung von Professor Abbe zuerst angewendete und empfohlene (Botanisches Centralblatt 1880, Nr. 36/37) Monobrom-Naphtalin, eine nicht flüchtige, bei 280^0 siedende, farblose, ölartige, in Aether und Weingeist lösliche Flüssigkeit mit dem Brechungsindex von 1,658 und der Differenz 0,228, ferner die von J. W. Stephenson neuerdings empfohlene (Journal of R. M. Soc., April 1882 und Botan. Centralblatt Nr. 29, 1882) gesättigte Lösung von Quecksilberjodid in Jodkaliumlösung mit dem Brechungsindex 1,682 und der Differenz 0,25 [1]).

Bezüglich der trocken eingelegten Probeobjecte bleibt gemäss der Betrachtung auf Seite 162 noch hervorzuheben, dass dieselben, wenn sie für Immersionssysteme von über 1,0 numerischer Apertur Verwendung finden sollen, an dem Deckglase festhaften müssen, nicht aber auf dem Objectträger aufgelegt sein dürfen. Im ersten Falle verhält sich nämlich das Object in Bezug auf die von ihm ausgehenden Beugungsbüschel — wie wir gesehen haben — genau so, wie ein Object, welches in einem stark brechenden Medium liegt und es wird nur die Schiefe des einfallenden Lichtkegels durch die zwischenliegende Luftschicht beschränkt, während im anderen Falle die Lichtstrahlen von beiden Seiten einer Beschränkung unterliegen und das Objectivsystem nur mit etwa 1,0 numerischer Apertur wirkt.

Die nachstehende Tabelle, in welcher die Streifenzahl auf 10 μ* [2]), die Abstände in μ, sowie die zur Auflösung bei der üblichen centralen und bei äusserst schiefer Beleuchtung erforderlichen numerischen Aperturen verzeichnet sind, enthält eine wohl für alle Fälle ausreichende Anzahl von Probeobjecten, welche nach obigen Gesichtspunkten ausgewählt sind.

---

[1]) In neuester Zeit giebt J. D. Möller in Wedel in Phosphorlösung ($n = 2{,}01$, Differenz $= 0{,}67$) liegende Probeobjecte aus, welche mit Ausnahme der Grammatophoren die Zeichnungen ganz prachtvoll zeigen.

[2]) Die Streifenzahlen habe ich, weil mir dieses für den vorliegenden Zweck das Entsprechendere scheint, in mittleren Zahlen angegeben.

Natürliche Probeobjecte			Zur Auflösung erforderliche numerische Aperturen	
Namen der Probeobjecte	Anzahl der Streifen in 10 μ	Entfernung der Streifen in μ	bei geradem Lichte	bei schiefem Lichte
Navicula (Pinnularia) nobilis	5 — 6	1,90	0,15	—
Navicula (Pinn.) viridis	7 — 8	1,33	0,20	—
Nitzschia Brebissonii	10	1,00	0,25	—
Synedra pulchella	12	0,83	0,35	—
Stauroneis Phoenicentron und Pleurosigma balticum	14	0,70	0,45	0,40
Nitzschia hungarica, Pleurosigma attenuatum und Grammatophora marina	16	0,62	0,55	0,45
Nitzschia amphioxys und Grammatophora serpentina	18	0,55	0,65	0,50
Nitzschia sigma	20	0,50	0,75	0,55
Grammatophora oceanica u. Nitzschia paradoxa	22	0,46	0,85	0,60
Surirella gemma, Querstreifen . . .	24	0,41	1,00	0,65
Grammatophora macilenta und Nitzschia sigmoidea	26	0,38	1,05	0,70
Nitzschia obtusa	28	0,36	1,15	0,75
Nitzschia linearis und Navicula rhomboides typ.	30	0,33	1,30	0,85
Nitzschia vermicularis und tennis . .	32	0,31	1,40	0,90
Nitzschia palea (gross) und vermicularis (klein)	34	0,29	—	0,95
Nitzschia curvula und Navicula rhomboides (Frustulia) var. saxonica .	36	0,28	—	1,00
Grammatophora subtilissima (Hondouras)	38	0,26	—	1,05
Amphipleura pellucida	40	0,25	—	1,10
„ „ (kleine) . .	42	0,24	—	1,15
				1,25

Hauptbedingung für den Gebrauch dieser Objecte, mag man sich nun einer umfangreicheren Reihe oder nur einer kleineren Anzahl bedienen, bleibt aber immer die, dass man sich vorher mit deren Aussehen unter anerkannt guten Instrumenten vertraut mache, ehe man ihr Verhalten seinem Urtheile zu Grunde legt. Um in dieser Richtung einige Anhaltspunkte zu geben, mögen die nachfolgenden Beschreibungen einiger Diatomeenschalen dienen.

Navicula (Pinnularia) nobilis (Ehrenberg), Fig. 100, enthält auf 10 μ 4 bis 6 starke Querstreifen, welche schon bei 20- bis 25 facher Vergrösserung zu sehen sind, so dass sie ein Probeobject für

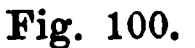
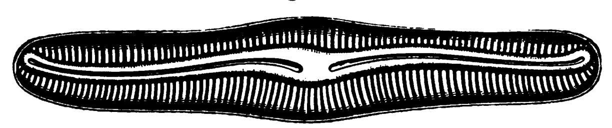


Fig. 100.

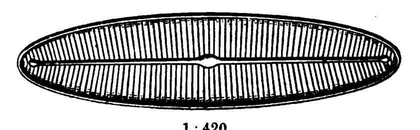


1 : 300

die Systeme von etwa 40 bis 50 mm Brennweite bildet. Dabei kommt natürlich vorzugsweise in Betracht, mit welcher Schärfe die einzelnen Linien hervortreten, da es wohl kaum zu erwarten ist, dass dieselbe nicht von allen Systemen dieser Classe gelöst wird.

Navicula (Pinnularia) viridis (Rabenhorst), Fig. 101 enthält auf 10 μ 7 bis 8 Querstreifen. Sie bildet ein Probeobject, welches

Fig. 101.



1 : 420

für die schwächeren Ocularvergrösserungen der Objectivsysteme von 20 bis 30 mm Brennweite und 0,20 numerischer Apertur geeignet ist.

Ein schwieriges Probeobject bildet die Navicula-rhomboides typ. Ehrbg., Fig. 102 I. und II, welche auch unter dem Namen Navicula Amici (fossil) sowie als Navicula affinis, Vanheurckia rhomboides und viridula de Breb. ausgegeben wurde. Dieselbe misst etwa 60 bis 120 μ und enthält neben stärkeren Längsstreifen, *a*, von denen 24 bis 26 auf 10 μ gehen, sehr zarte, hier allein in Betracht kommende Querstreifen, *b*, deren man auf gleichem Raume 28 bis 30 zählt. Sie kann trocken, sowie in Monobrom-Naphtalin und Kalium-Quecksilberjodid eingelegt werden, und erfordert für Objectivsysteme von 0,85 bis 1,30 numerischer Apertur die Anwendung schiefen Lichtes zu ihrer Lösung.

Navicula rhomboides var. saxonica Rbh. (Frustulia saxonica Rbhst., Navicula — Vanheurckia — crassinervia de Breb.), Fig. 103 I. und II. (echt aus der sächsischen Schweiz durch E. Thum zu beziehen) besitzt bei einer Länge von 35 bis 60 μ äusserst feine Längs- und Querstreifen, von denen 34 bis 35 auf 10 μ gehen. Beide Streifensysteme (namentlich die Längsstreifen) verlangen ein vorzügliches System zur Lösung. Man sieht sie indessen bei schiefem Lichte und günstiger Tagesbeleuchtung mittelst der stärksten Objectivsysteme ganz gut, wenn nur das Object richtig zubereitet, „gespalten“

und trocken, in Monobrom-Naphtalin, oder Kalium-Quecksilberjodid eingelegt ist. Liegt dasselbe dagegen in Balsam, so sind die Querstreifen sehr schwer zu sehen.

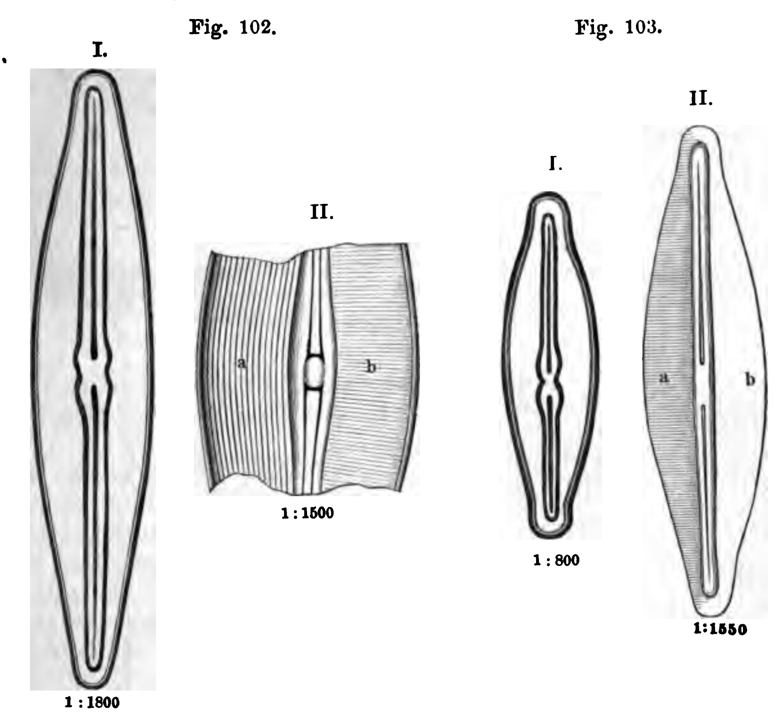
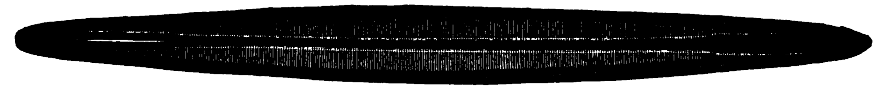


Fig. 102. Fig. 103.

Amphipleura pellucida Kg. (Fig. 104) ist das schwierigste bis jetzt bekannte Probeobject aus der Reihe der Diatomeen, welches erst in Monobrom-Naphtalin oder Kalium-Quecksilberjodid eingelegt seine volle Schärfe der Zeichnung entfaltet. Die Anzahl der Querstreifen auf 10 μ beträgt im Mittel 40. Das Object verlangt zu seiner Lösung

Fig. 104.



1 : 1200

bei sehr schiefer Beleuchtung Wasserimmersion mit mindestens 1,16 numerischer Apertur oder homogene Immersion.

Pleurosigma balticum, Fig. 105 (a. f .S.), welches trocken oder in Monobrom-Naphtalin und Kalium-Quecksilberjodid eingelegt werden kann, enthält ziemlich starke Längs- und gleichstarke Querstreifen, von denen 14 bis 15 auf 10 μ gehen, und eine numerische Apertur von 0,40

für schiefe, von 0,48 für centrale Beleuchtung in Anspruch nehmen. Bei dieser und der folgenden Species lässt sich mittelst gut begrenzender



Fig. 105. 1:400

Fig. 106. I. 1:400 II. 1:1200

Vergrösserungen die anscheinend geperlte, respective gefelderte Structur (Fig. 106) leicht erkennen.

Pleurosigma attenuatum, Fig. 106 I. und II. — trocken, in Monobrom-Naphtalin oder Kalium-Quecksilberjodid einzulegen — ist dem vorigen ganz ähnlich gezeichnet, nur sind die Längslinien schärfer und es stehen die Querlinien etwas näher beisammen, so dass etwa 16 auf 0,01 mm kommen.

Ganz vortreffliche Probeobjecte liefern Grammatophora, marina W. Sm. (tropica Kg., Fig. 107) mit 16, Gr. oceanica Ehbg. (marina

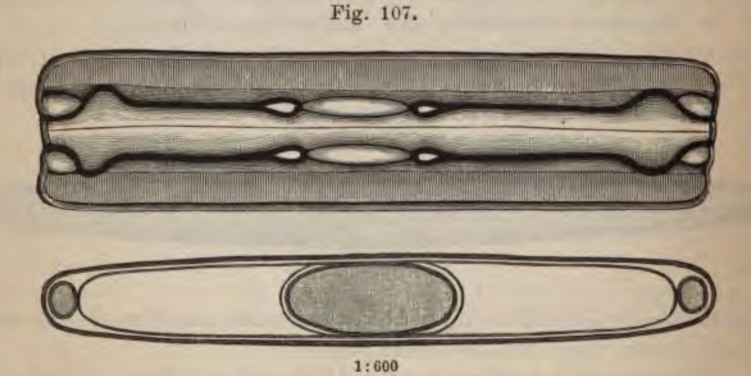
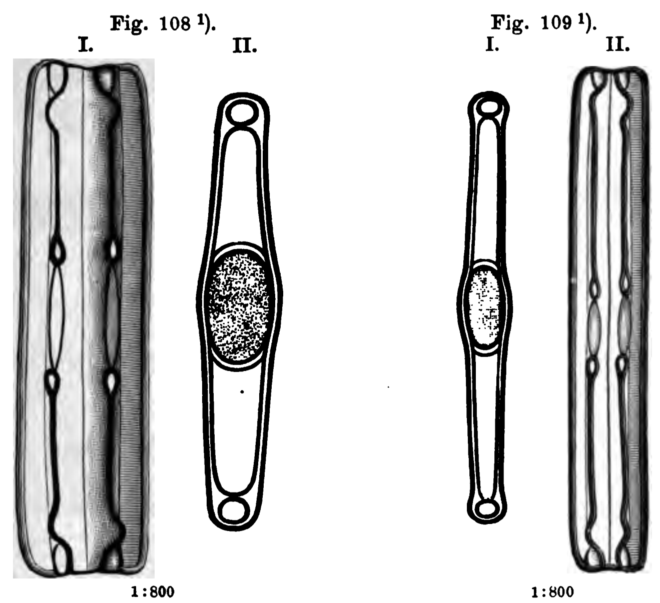


Fig. 107. 1:600

Kg.), Fig. 108, (Eugène Bourgogne in Paris) mit etwa 22, Gr. macilenta W. Sm. mit 26, Gr. subtilissima, Fig. 109, (Möller in Wedel: Hondouras-Diatomeen) mit 34 bis 36 — bei den ersten Arten ganz

deutlich geperlten — Querstreifen auf 10 μ, welche stets in Monobrom-Naphtalin oder Kalium-Quecksilberjodid (oder auch Canadabalsam etc.) eingelegt sein sollten. Bei der ersten Art sieht man bei centraler Beleuchtung die Querstreifen schon recht gut mittelst guter Vergrösserungen der Systeme von 10 bis 6 mm Brennweite und mit einer numerischen Apertur von 0,55 bis 0,65, bei schiefer von 0,45 bis 0,50, auf der zweiten treten sie bei hellem Wolkenlichte sehr scharf hervor, wenn man bei centraler Beleuchtung Trockensysteme von 3 bis 2 mm Brennweite und 0,80 bis 0,85 numerischer Apertur verwendet, während bei schiefem Lichte solche von 6 bis 4 mm Brennweite und 0,60 numerischer Apertur

Fig. 108 [1]). Fig. 109 [1]).



zur Lösung schon ausreichen. Die Sichtbarmachung der Querstreifen der dritten Art erfordert bei geradem Lichte Wasserimmersion von mindestens 1,05 numerischer Apertur, für schiefe Beleuchtung Trockensysteme von etwa 0,70; um dagegen diejenigen der letzten Art deutlich zu sehen, bedarf man bei Immersionssystemen von über 1,00 numerischer Apertur schiefer Beleuchtung bei gutem Tageslichte. Bei allen Arten, namentlich aber bei den beiden ersten, können neben den Querlinien auch sich schief durchkreuzende Linien, wie bei Pl. angulatum, hervorgerufen werden. Schliesslich will ich nicht versäumen, zu bemerken, dass die in der ersten Auflage des Mikroskopes als Gr. marina beschriebene Art die Gr. oceanica Ehrenberg ist und dass die im Handel vorkommende Gr. subtilissima — soweit ich sie kennen lernte — mit

[1]) In Fig. 108 und 109 sind die Streifen gröber gezeichnet, als es der Vergrösserung entspricht.

Gr. macilenta W. Sm. identisch erscheint. Die wahre Gr. subtilissima Bailey (Gr. macilenta var. subtilissima?) habe ich nur in einem älteren Bourgogne'schen und einem von Bailey herrührenden Präparate, sowie in den Diatomeen von Hondouras (Möller in Wedel) vor mir gehabt (siehe Zeitschrift für Mikroskopie, Jahrgang II, 1880, Heft IX).

Nitzschia Brebissonii W. Sm. (Fig. 110) (neben der gleichwerthigen N. scalaris W. Sm. häufig im Badeschlamm von Södertelge,

Fig. 110.



1 : 400

Möller in Wedel, Rodig in Hamburg — als N. sigmoidea var. Brebissonii —, Thum in Leipzig) hat 10 stark markirte Querstreifen auf 10 μ

Fig. 111.



1 : 800

und findet für Systeme von 0,25 bis 0,30 numerischer Apertur Verwendung.

Nitzschia sigma W. Sm. (Fig. 111) besitzt 20 Querstreifen auf 10 μ und dient trocken oder in Monobrom-Naphtalin etc. eingelegt für Objectivsysteme mit 0,75 bis 0,80 numerischer Apertur bei gerader, für solche mit 0,55 numerischer Apertur bei schiefer Beleuchtung.

Nitzschia sigmoidea (Ehrenberg) W. Sm., Fig. 112 I. und 113 II. — deren früheren Beschreibungen ein anderes Material (wohl

Fig. 112.

I.



II.

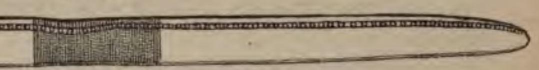


1:1550

zwischen dieser und N. vermicularis) zu Grunde gelegen hat —, besitzt etwa 26 Querstreifen und eignet sich für numerische Aperturen von etwa 0,95 an bei geradem, für solche von 0,65 bei schiefem Lichte.

Nitzschia obtusa W. Sm., Fig. 113, mit 28 Querstreifen auf 10 μ, kann trocken oder in Monobrom-Naphtalin etc. eingelegt verwendet

Fig. 113.

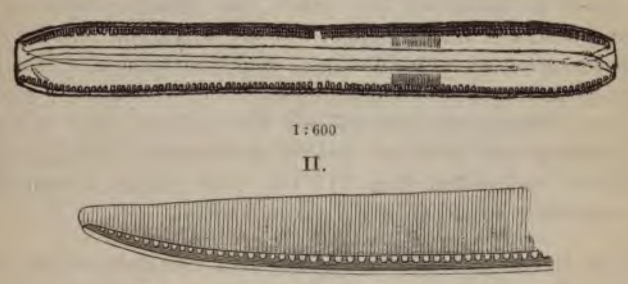


1:800

werden und zwar für numerische Aperturen von 1,15 (Wasserimmersion) bei centralem, von 0,85 bei excentrischem Lichte (Möller und Thum).

Fig. 114.

I.



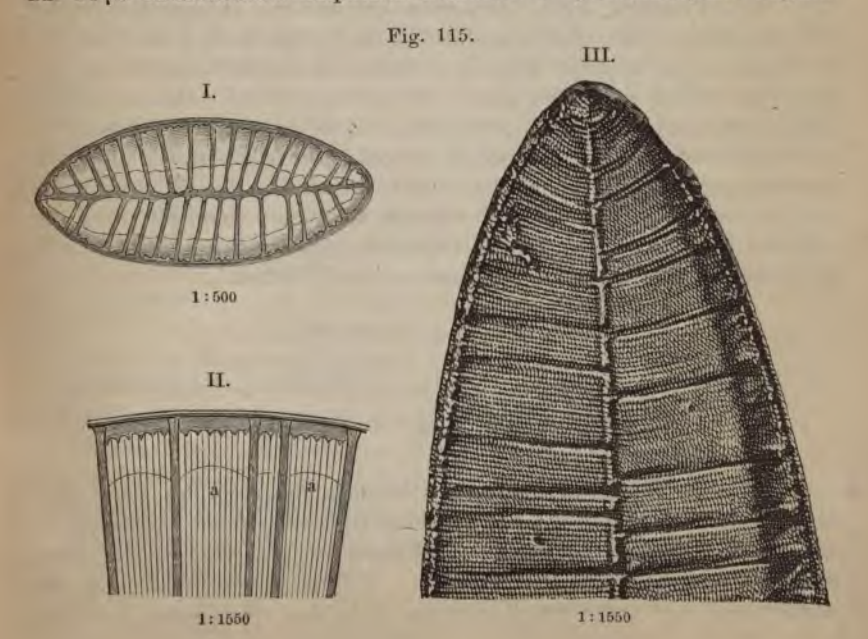
1:600

II.

1:1550

Nitzschia linearis (Fig. 114 I. und II.) hat 30 Querstreifen auf 10 μ. In Monobrom-Naphtalin oder Kalium-Quecksilberjodid liegend

Fig. 115.



I. 1:500

II. 1:1550

III. 1:1550

wird sie von den Objectivsystemen für homogene Immersion mit über 1,30 numerischer Apertur (z. B. Zeiss $^1/_8''$, 1,40 numerische Apertur) bei geradem Lichte gelöst, während bei schiefem Lichte Trockensysteme von 0,85 numerischer Apertur die Streifen deutlich zeigen müssen (Thum).

Ein prachtvolles Object ist Surirella gemma, Fig. 115 I. bis III. (a. v. S.). Die den Querrippen parallel verlaufenden stärkeren Querstreifen (Fig. 115 II.), von denen 24 auf 10 μ gehen, sind schon mittelst Immersionssystemen von 1,00 und etwas weniger numerischer Apertur bei centraler Beleuchtung deutlich zu sehen, dagegen sind die äusserst zart gezeichneten Längsstreifen, welche auch über die Querleisten verlaufen und von denen 30 bis 32 auf 10 μ gehen, sehr schwer sichtbar zu machen und verlangen schiefe Beleuchtung. Für die homogene Immersion bildet bei trocken eingelegten, an das Deckglas angeschmolzenen, oder in Kalium-Quecksilberjodid liegenden Exemplaren die feinere Zeichnung, welche sich je nach dem Lichteinfalle bald wie ein Korbgeflecht, bald in Form von kleinen, abwechselnd hell und dunkel gezeichneten Rhomboiden, von langgezogenen Sechsecken (Fig. 115 III.) oder runden Perlen darstellt, einen vorzüglichen Prüfstein der Vollkommenheit.

113 Die von Harting zuerst und dann auch von anderer Seite empfohlene Methode der Prüfung des Unterscheidungsvermögens mittelst der von Luftbläschen oder von einem passenden Objectivsysteme erzeugten Bildchen eines Gitters oder Drahtnetzes stellt sich als eine rein illusorische dar. Wie Professor Abbe dargethan hat und wie in dem Handbuche der allgemeinen Mikroskopie ausführlich dargelegt wurde, steht bei der Beobachtung der bei dieser Methode in Frage kommenden Bildchen das, was man thatsächlich sieht oder nicht sieht, in keinerlei ursächlichem Zusammenhange mit den Eigenschaften des zu derselben benutzten Objectivsystemes und den Ausmaassen sowie den Einzelheiten des angeblich beobachteten Bildchens. Es ist sonach unzulässig, die Wahrnehmungen bei derartigen Versuchen auszulegen als Wahrnehmungen über die optische Leistung des benutzten Objectivsystemes gegenüber den durch Rechnung ermittelten Maassverhältnissen der Bildchen.

4. Ermittelung der Ausdehnung, Ebenung, Ebenmässigkeit und Färbung des Sehfeldes.

114 Ueber die Maassbestimmung der Ausdehnung, resp. des Durchmessers des Sehfeldes, welcher bei gleichem Objectivsysteme hauptsächlich von der Construction des Oculares abhängig ist, ist schon weiter oben das Erforderliche beigebracht worden. Will man ausserdem noch die Ausdehnung der virtuellen Bildfläche, d. h. des scheinbaren Gesichts-

feldes, kennen lernen, so braucht man nur das Objectfeld in der bei Bestimmung der Vergrösserung angegebenen Weise zu projiciren und die Grösse des Bilddurchmessers unmittelbar mittelst eines Maassstabes oder mittelst Zirkel und Maassstab zu messen. Nächstdem bliebe noch zu untersuchen, ob das Sehfeld in seiner vollen Ausdehnung oder nur theilweise und in welchen Theilen verwendbar ist. Das Maass der nutzbaren Ausdehnung steht nun aber — gleiche Construction des Oculares vorausgesetzt — vorzugsweise in Beziehung zu der Beschaffenheit der Objectivsysteme und hängt von den noch vorhandenen, mehr oder minder grossen Resten der in dem vorigen Abschnitt näher gekennzeichneten Abbildungsfehler und dem Mangel vollständiger optischer Symmetrie ab, welche je nach Umständen verschiedene Zonen der Objectivöffnung und damit des Sehfeldes verschieden beeinflussen können. Sind durch diese Factoren hervorgerufene Ungleichmässigkeiten vorhanden, so ist dies ein Fehler, der immer in mehr oder minder hohem Grade die Wirkung des betreffenden Instrumentes bei der Zeichnung des Bildes beeinträchtigt. Um sich von dem Vorhandensein etwaiger diesbezüglicher Ungleichmässigkeiten zu überzeugen und somit den nutzbaren Theil der ganzen Ausdehnung zu bestimmen, dient wieder sehr gut der schon mehrfach empfohlene Quer- oder Längsschnitt eines Nadelholzes, indem das Freisein von Farbenerscheinungen, sowie die Schärfe und Bestimmtheit der Einzelheiten in der Structur über die ganze Fläche des Gesichtsfeldes nur bei vollkommenen Systemen vorhanden ist, jeder Fehler in dieser Beziehung aber leicht erkennbar hervortritt. Freilich muss der Schnitt dann aber auch in grösserer Ausdehnung gleichmässig ausgeführt sein.

115 Von nicht minderer Wichtigkeit, als die wirklich nutzbare Ausdehnung, ist die möglichst vollständige Ebenung des Sehfeldes. Besitzt dasselbe eine merkliche Krümmung, welche sich vorzugsweise in den äusseren und äussersten Randpartien geltend macht, so tritt für den vollen Ueberblick eines Präparates ein störender Uebelstand ein. Es ist dann, eine bestimmte, auf die Mitte des Objectes bezügliche Einstellung vorausgesetzt, gleichfalls nur der mittlere Theil des mikroskopischen Bildes für feinere Untersuchungen verwendbar, weil die tiefer gelegenen Randtheile desselben stets an Schärfe und Bestimmtheit verlieren, und für den Fall, als sie ebenfalls mit Sicherheit durchforscht werden sollen, eine veränderte Einstellung fordern. Fällt nun dieser Umstand auch weniger bei solcher Beobachtung ins Gewicht, wo man überhaupt nur einen kleinen Theil des Objectes vorzugsweise in Betracht zu ziehen hat, und folglich denselben immer in die Mitte des Gesichtsfeldes bringen kann, so tritt er doch um so empfindlicher bei einer grossen Anzahl solcher Fälle hervor, wo man sich eine mehr übersichtliche Anschauung grösserer Gewebemassen und der relativen Beschaffenheit und Lagerung ihrer constituirenden Bestandtheile verschaffen möchte.

Die Krümmung des Sehfeldes giebt sich am deutlichsten zu kennen, wenn man ein vollständig ebenes Bild als Object benutzt

untersucht, ob dasselbe in allen seinen Theilen mit gleicher Deutlichkeit erscheint. Ich benutze am liebsten sogenannte mikroskopische Photographien mit Druckschrift, wie man sie häufig aus Handlungen erhält. Weniger sichere Resultate liefern dünne Pflanzenschnitte, weil man eben hier nicht immer eine vollständig ebene Fläche bei dieser Prüfungsweise herzustellen im Stande ist. In der Regel wird man — ich habe es bei allen von mir untersuchten Mikroskopen beobachtet — finden, das die Randpartien des Bildes eine Annäherung des Tubus an das Object erfordern. Die Bildfläche richtet ihre erhabene Seite nach oben und es lässt sich durch das Maass der verlangten Aenderung in der Einstellung das Mehr oder Minder der Krümmung erschliessen.

116 Weit nachtheiliger als die Krümmung der Bildfläche wirkt die Verzerrung des Bildes in den Randtheilen des Sehfeldes, d. h. die in den Convergenzfehlern begründete ungleiche Vergrösserung und die in Folge orthoskopischer Fehler hervorgerufene Verzeichnung in dessen verschie-

Fig. 116.

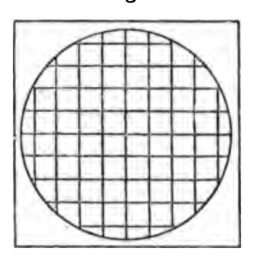


Fig. 117.

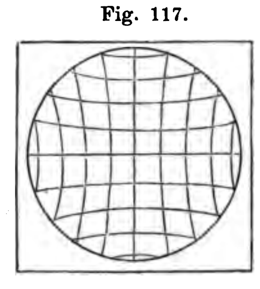
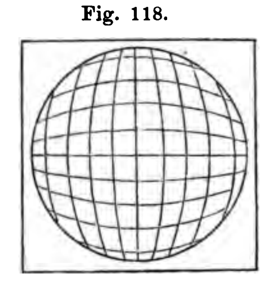


Fig. 118.



denen Theilen. Dieser Fehler sollte immer und unbedingt gehoben erscheinen. Alle neueren Mikroskope, die ich zu untersuchen Gelegenheit hatte, sind in der That auch beinahe völlig frei davon und gewähren eine fast vollständig gleiche Vergrösserung über das ganze Gesichtsfeld. Wo ein Instrument einmal mit einem Fehler dieser Richtung behaftet erscheint, ohne dass eine Aenderung möglich ist, da muss man sich jedenfalls auf das Genaueste davon zu überzeugen suchen, welcher Theil des Sehfeldes zu verwerfen und welcher auch für die feinsten Untersuchungen, Messungen etc. noch unbedingt verwendbar ist. Als bestes Prüfungsmittel hierfür lässt sich das schon von Harting vorgeschlagene, in quadratische Felder getheilte Glasmikrometer empfehlen. Weniger gut eignen sich dazu andere, von manchen Seiten empfohlene mikroskopische Objecte, weil ihnen einestheils die nöthige Gleichförmigkeit fehlt, anderntheils die statthabenden Verzerrungen und Verbiegungen der Umrisse sich nicht mit jenem Grade von Sicherheit beurtheilen lassen, der hierzu unbedingt erfordert wird. Ist die Vergrösserung über die ganze Ausdehnung des Sehfeldes eine vollkommen gleichmässige, so werden die Quadrate des Mikrometers sämmtlich von geraden Linien begrenzt erscheinen, Fig. 116. Ist dagegen, wie es bei den vorkommenden Fällen



(Zu Seite 211.)

Tafel I.

Fig. 1.



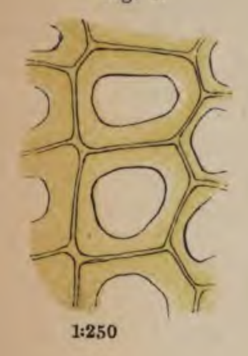
1:460

Fig. 3.

1:370



Fig. 2.



1:250

Fig. 4.



1:120

Fig. 5.



1:370

Fig. 6.

1:250



Fig. 7.

1:370



Fig. 8.

1:120



in der Regel der Fall ist, die Vergrösserung des Bildes in den Randtheilen des Gesichtsfeldes eine stärkere als in der Mitte, so müssen die Quadrate von mehr oder minder stark nach auswärts gebogenen Linien eingefasst erscheinen, Fig. 117. Das Umgekehrte findet statt, wenn, was indessen kaum vorkommen dürfte, die Vergrösserung in der Mitte jene in den äusseren Theilen übertrifft (Fig. 118). Weniger in die Augen fallende, aber immerhin genügend sichere Resultate gewährt auch ein gewöhnliches Glasmikrometer, wenn dessen Theilstriche nur die erforderliche Länge besitzen. Dieselben erscheinen im zweiten und letzteren Falle nur in der Mitte des Sehfeldes ganz gerade, an den Randtheilen dagegen nach aussen oder innen concav.

117 Zur Prüfung der Färbung des Sehfeldes eignen sich vorzüglich zarte Schnitte durch das Holz unserer Laub- und Nadelbäume, durch die dickwandigen Bastzellen der Gefässbündel mancher Palmen (Caryota etc.), sodann die Stärkemehlkörner aus der Frucht oder den Knollen der Kartoffel. Mittelst dieser Objecte ist man, wenn der Schnitt die erforderliche äusserste Dünne besitzt, im Stande, auch die geringsten Unterschiede in den Schattirungen und in den Graden der Färbung des Gesichtsfeldes zu entdecken und deren Einfluss auf die Gegenstände einer jeweiligen Untersuchungsreihe zu ermitteln. Ich habe in den Figuren 1 bis 4 und 5 bis 8 der Tafel I eine Stufenfolge wirklich beobachteter Färbungen des Sehfeldes bei verschiedenen Objectivsystemen dargestellt und werden dieselben dem weniger geübten Beobachter leicht genügende Anhaltspunkte gewähren.

Fünftes Capitel.

Mikroskope deutscher Werkstätten.

Nachdem wir in den vorhergehenden Capiteln die mechanische und optische Einrichtung, sowie die optischen Eigenschaften und Vermögen des zusammengesetzten Mikroskopes kennen gelernt und uns mit den Methoden zur Prüfung desselben vertraut gemacht haben, sollen, nachdem die Grundsätze, welche man bei der Beurtheilung eines zu wissenschaftlichen Zwecken bestimmten Mikroskopes zu beachten hat, kurz recapitulirt worden sind, dem Leser eine Reihe von mittleren und kleineren Instrumenten aus deutschen Werkstätten vorgeführt werden, von deren Leistungen ich mich selbst überzeugt habe, oder für welche ich mich auf zuverlässige Urtheile sachkundiger Mikroskopiker stützen kann.

118 Was die Grundsätze angeht, welche man im Auge zu halten hat, wenn man sich die Frage beantworten will, wie ein zusammengesetztes

Mikroskop eingerichtet sein und was es leisten soll, so liegt auf der Hand, dass ich mich hier auf diejenigen beschränken muss, welche eine mehr allgemeine Gültigkeit in Anspruch nehmen können. Die Verschiedenheit der Ziele, die man mittelst des Mikroskopes zu verfolgen beabsichtigt, muss hierbei natürlich in einer oder der anderen Weise Modificationen in den an dasselbe zu stellenden Anforderungen im Gefolge haben.

Dem sei indessen, wie ihm wolle, bei der Wahl eines Mikroskopes steht in erster Linie immer der optische Apparat, Objectivsysteme, Oculare und Beleuchtungsvorrichtungen. Volle Klarheit und Farblosigkeit, Reinheit und Schärfe der einzelnen Linien und Begrenzungen des Bildes, hinreichendes Abbildungsvermögen, Ebnung, Ebenmässigkeit, ausreichende helle Erleuchtung und passende Ausdehnung des Sehfeldes sind hier unbedingtes und Haupterforderniss, neben dem noch die Möglichkeit einer umfassenden Abwechselung in Art und Stärke der Beleuchtung vorzügliche Beachtung verdient. Wie man sich von jenen wichtigsten Seiten des optischen Vermögens, welche vorzugsweise auf der Construction der Objectivsysteme beruhen, unterrichtet, wurde in dem vorhergehenden Abschnitte in umfassender Weise dargelegt. Der Geübtere wird sich hierüber schon bei der Betrachtung eines einzigen passenden und ihm hinreichend bekannten Objectes auf den ersten Blick sein Urtheil bilden können. Der weniger Geübte oder mit dem Gebrauche des Mikroskopes noch gar nicht Vertraute wird, wenn ihm nicht ein Mikroskopiker mit Rath und That zur Seite steht, sich auf eine mehr umständliche Prüfung einlassen müssen, wobei ihm die oben beschriebenen Probeobjecte gute Dienste leisten können. Mehr in zweiter Linie steht die Vergrösserung. Für recht viele, ja fast für die meisten Untersuchungen wird eine Reihe von 50- bis 600 maligen Linearvergrösserungen ausreichend sein. Einzelne Fälle machen allerdings auch stärkere Vergrösserungen nicht allein wünschenswerth, sondern nothwendig, und ich kann durchaus nicht dem Ausspruche einzelner Forscher beitreten, dass das, was bei 300- bis 400 facher Vergrösserung nicht gesehen wird, überhaupt nicht gesehen werden kann. Diese starken Vergrösserungen müssen dann — wie dies aus den im Vorausgehenden dargelegten theoretischen Betrachtungen hervorgeht — aber auch, wenn sie mit Vortheil gebraucht werden sollen, ganz vortrefflich, und es dürfen namentlich nicht die übrigen guten Eigenschaften der betreffenden Objective zu Gunsten des Auflösungsvermögens hintangesetzt sein, wie das hier und da geschieht.

Bei der Beurtheilung der Vergrösserungen hat man vorzugsweise auch darauf zu sehen, ob dieselben mehr das Product der Objectivsysteme oder der Oculare sind. Ersteres ist im Allgemeinen vorzuziehen, indem — wie in dem dritten Abschnitt unter „Verwendung des optischen Apparates" ausführlicher dargelegt werden wird — solche höhere Vergrösserungen, welche man mittelst starker, eine ausreichend grosse numerische Apertur besitzender Objectivsysteme und schwächerer Oculare erzielt,

für die Beobachtung schwieriger, gehörig hergerichteter Objecte denjenigen vorzuziehen sind, welche bei (nach jetzt üblicher Methode und mittelst unserer gebräuchlichen Glassorten construirten) schwächeren Systemen mit dem abzubildenden Detail entsprechender (also abnorm grosser) Oeffnung durch starke Oculare erzielt werden müssen. Allerdings ist bei den stärkeren Objectivsystemen der Abstand von der Oberfläche des Deckglases ein geringerer, und es verlangen dieselben ein dünnes Deckglas. Ich kann aber hierin, wenn einmal höhere Vergrösserungen nützlich oder erfordert werden, durchaus keinen Nachtheil erkennen, und wird derselbe, wenn überhaupt als vorhanden zugegeben, durch den erreichten Vortheil weit überwogen. Im Allgemeinen wird bei der Wahl der Objectivsysteme in dieser Beziehung darauf zu sehen sein, dass man eine für seine Zwecke ausreichende Abstufung der Vergrösserungen erreicht. Vier bis fünf — darunter für besondere Zwecke, wie zur Beobachtung von Spaltpilzen (Bacterien) u. dergl. ein System für homogene Immersion — werden für die meisten Fälle genügen. Von ihnen mögen mit dem schwächsten, eine 3- bis 4fache Angularvergrösserung gewährenden Ocular das erste eine 20- bis 30fache, das zweite eine 80- bis 100fache, das dritte eine 200- bis 250fache, das vierte eine 300- bis 400fache, das Immersionssystem eine 400- bis 600fache Vergrösserung geben.

Was die mit den Objectivsystemen zu verbindenden Oculare betrifft, so muss auch von ihnen möglichste Vollendung verlangt werden. Sehr angenehm ist es, wenn dieselben ein grosses und ebenes Gesichtsfeld gewähren, was leider nicht immer der Fall ist. Uebermässig starke Oculare suche man zu umgehen. Hat man die erforderliche Anzahl von Objectivsystemen, so werden etwa 2 bis 4 vollkommen ausreichend sein, von denen das schwächste, bei 150 bis 180 mm langem Rohre, die oben genannte, das stärkste höchstens eine 9- bis 12fache Angularvergrösserung ermöglicht.

Als Beleuchtungsapparat genügt es wohl für die meisten Untersuchungen, wenn ein allseitig beweglicher Plan- und Concavspiegel für durchgehendes, und eine 5 bis 9 cm im Durchmesser haltende Beleuchtungslinie für auffallendes Licht vorhanden sind. Als Blendungsvorrichtung verdienen dabei die verstellbaren, namentlich die nach dem Zeiss'schen Principe construirten Cylinderblendungen den unbedingten Vorzug vor allen anderen. Macht sich, wie in dem oben berührten Falle, in dem unter Umständen ein die volle Objectivöffnung ausfüllender Lichtkegel benutzt werden muss, das Bedürfniss nach umfassenderen Vorrichtungen geltend, so ist der Abbe'sche Beleuchtungsapparat, welcher bei uns gegenwärtig von fast allen Werkstätten geliefert wird, oder ein ähnlicher einfacher Apparat, allen anderen zusammengesetzteren nicht nur ebenbürtig, sondern vorzuziehen.

Uebt die mechanische Einrichtung auch im Grossen und Ganzen auf die Leistungsfähigkeit eines Mikroskopes weit weniger Einfluss aus als der optische Apparat, so hat man doch auch auf sie sein Augenmerk

zu richten, da durch eine möglichst vollkommene, aber dabei einfache, leicht handhabbare Ausführung derselben der Gang einer wissenschaftlichen Untersuchung nicht wenig gefördert wird.

Die Hauptpunkte, welche dabei zu beachten sind, betreffen die Festigkeit des Standes, die Einrichtung des Objecttisches und die Vorrichtungen zur Einstellung. Ersterer soll vor allen Dingen möglichst fest und sicher sein, um das Instrument vor etwaigen Unfällen zu bewahren, und erfordert daher namentlich einen hinreichend breiten und schweren Fuss, sowie einen nicht zu hohen Bau und nicht unmässig langes Rohr. Der Tisch sei solide und stabil. Der unbewegliche, in keiner Weise federnde Objecttisch ist daher dem beweglichen unter allen Umständen vorzuziehen. Derselbe muss für alle vorzunehmenden Manipulationen sowie für eine freie Bewegung des Objectivträgers ausreichenden Raum gewähren und vollkommen eben sein. So kleine Tische, wie man sie hier und da bei manchen Mikroskopen noch immer trifft, sind unbedingt zu verwerfen. Zu grosse Objectivtische sind indessen auch nicht zu empfehlen, denn erstlich sind sie unbequem, und dann verlangen sie eine zu weite Entfernung vom Fusse, wenn sie den Einfall des Lichtes nicht beschränken sollen. Die Vorrichtung zur Einstellung, über deren Eigenschaften wir oben das Nöthige gesagt haben, sei womöglich eine zweifache, eine solche für schnellere, grösseren Spielraum gewährende, und eine andere für die langsamere feine Bewegung des Rohres.

119 **L. Bénèche** in Berlin (früher Bénèche und Wasserlein) liefert einige für die hier im Auge zu haltenden Zwecke recht geeignete Mikroskope.

Das Stativ *B* (Fig. 119), mit Hufeisenfuss, auf runder Säule und zum Umlegen eingerichtet, besitzt einen räumlichen, drehbaren Objecttisch, grobe Einstellung durch Schieben, feine durch über der Säule befindliche Mikrometerschraube, Schlittenblendung und allseitig verstellbaren Spiegel. Mit den Objectivsystemen 2, 3, 4, 7, 9 und 10 (Immersion und Correction), fünf Ocularen und einem Ocularmikrometer zum Einlegen versehen, beträgt sein Preis 300 Mark.

Das mittlere Stativ *C* stellt in Bau und Einrichtung eine Nachbildung des Hartnack'schen Mikroskopes VIII (Seite 220, Fig. 124) dar.

Sein Preis wechselt je nach der Ausstattung. Mit den Objectivsystemen 4, 7 und 10 (Immersion und Correction) und den Ocularen 2 und 3 [1]) beträgt er 210 Mark, mit 4, 7 und 10 (Immersion ohne Correction) und den gleichen Ocularen 180 Mark, mit 4, 7 und 9 und den genannten Ocularen 165 Mark.

Das kleine Mikroskop *D* (Fig. 120, S. 216) hat einen hufeisenförmigen Fuss, von dem sich die Säule erhebt, welche den seitlich verstellbaren

[1]) Statt 2 und 3 können natürlich auch zwei andere Oculare etwa 1 und 3, 2 und 4 gewählt werden, ohne dass sich der Preis ändert.

Spiegel, den Objecttisch und den Körper trägt. Die Einstellung geschieht wie bei den grossen Stativen durch Verschiebung des Rohres und Mikrometerbewegung. Die Blendungsvorrichtung besteht auch hier aus Cylinderblendung, welche indessen nicht mittelst Schlitten, sondern durch einfaches Schieben in einer an dem Tische angebrachten federnden Hülse gewechselt wird. Mit den Systemen 4, 7 und 9 und den Ocularen 1, 2 und 3 kommt das Mikroskop *D* auf 135 mit 4, 7, 8, und denselben

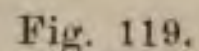


Fig. 119.



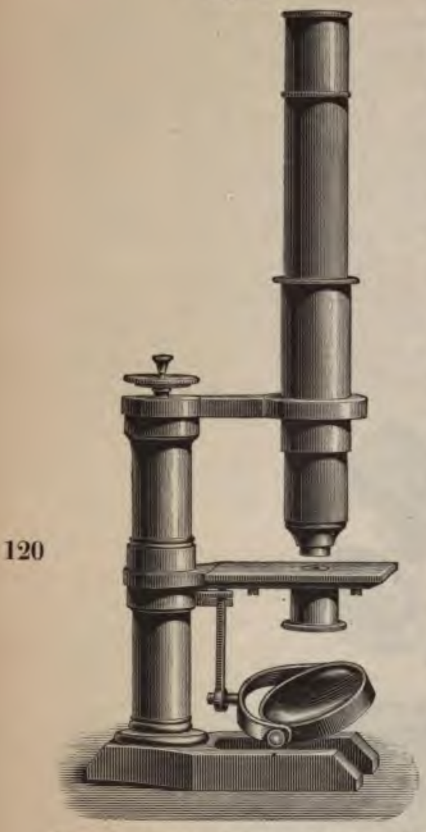
Ocularen auf 120, mit 4, 7 und den Ocularen 2, 4 auf 90 Mark zu stehen. Dieses Mikroskop, im Verhältniss zu seinem optischen Apparate sehr billig, ist äusserst compendiös und namentlich auf Reisen recht bequem.

Ein Stativ *D* 1 besitzt Hufeisenform von Eisen, von dem sich ein geschweifter Träger des Körpers erhebt, und festen, noch ausreichend grossen Tisch von Hartgummi. Der Spiegel ist horizontal allseitig

beweglich und die Blendungsvorrichtung besteht aus einer Drehscheibe. Die Einstellung geschieht wie bei den voranstehend beschriebenen Instrumenten, jedoch befindet sich die Mikrometerschraube unterhalb der Säule. Mit der gleichen Ausstattung wie *D* stellt sich der Preis auf je 120, 105 und 75 Mark.

Der optische Theil der Mikroskope von Bénèche war an allen Instrumenten, die ich näher prüfen konnte, im Ganzen gut construirt.

Fig. 120.



120

Die Objectivsysteme, von denen mir aus neuester Zeit die gangbarsten Nummern 2, 4, 7, 9 und 10 zur Prüfung vorgelegen haben, sind in den mittleren und stärkeren Nummern für 0,15 mm Deckglasdicke justirt und umfassen 9 Trockensysteme: 1 à 12 Mark, 2 (f = 24 mm; numer. Apertur = 0,13)[1]) à 18 Mark, 3 à 21 Mark, 4 (f = 12,8 mm; numer. Apertur = 0,29) und 5 à 24 Mark, 6 bis 8 (bei 7 f = 4 mm; numerische Apertur = 0,73) à 30 Mark, 9 (f = 2,8 mm; numer. Apertur = 0,89) à 45 Mark, und 3 Immersionssysteme, 10 (f = 2 mm; numerische Apertur = 0,91) je mit oder ohne Correction, à 60 und 90 Mark, 11 à 135 Mark, 12 à 225 Mark.

Emil Boecker in Wetzlar liefert verschiedene Stative, von denen die mittleren und kleineren Stative von Nr. VI bis VIII den Leitz'schen Stativen nachgebildet und von vortrefflicher mechanischer Ausführung sind.

Die Preise der Stative ohne optischen Apparat betragen für Nr. VI 60 Mark, Nr. VII 45 Mark, Nr. VIII 30 Mark, Nr. IX 24 Mark. Wird Nr. VI zum Umlegen eingerichtet, so erhöht sich der Preis um 10 Mark.

Das mittlere Hufeisenstativ Nr. VI (ähnlich Nr. III a, Leitz) erhält die Oculare I, III, sowie die Systeme 1, 4, 7, 9, oder 3, 6, 8, oder 1, 3, 7, oder 3, 7, und wird demzufolge zu 200, 150, 135 oder 110 Mark berechnet.

---

[1]) Die hier und später in Klammern stehenden Werthe der Brennweite und numerischen Aperturen sind die auf eigenen Messungen beruhenden.

Dem kleinen Hufeisenstativ Nr. VII werden nächst den Ocularen I und III die Objectivsysteme 3, 5, 7 oder 3, 7 beigegeben und sein Preis auf 105 und 90 Mark gestellt.

Das kleinste Hufeisenstativ Nr. VIII (ähnlich Nr. IV, Leitz) wird mit den Systemen 3, 7 und den Ocularen I, III um 80 Mark abgegeben.

Boecker verzeichnet in neuester Zeit 13 Trockensysteme und 4 Immersionssysteme, welche die gleiche Bezeichnung tragen wie diejenigen von Dr. Zeiss. Die Preise betragen für a: 10 Mark, a*: 25 Mark, aa: 25 Mark, A: 20 Mark, AA: 24 Mark, B: 27 Mark, BB: 36 Mark, C: 30 Mark, CC: 40 Mark, D: 36 Mark, DD: 45 Mark, E: 48 Mark, F: 60 Mark, H: 90 Mark, I: 110 Mark, K: 150 Mark, L: 250 Mark.

Es haben mir die Nummern a, dann aa und AA bis E mit Brennweiten von 40, 30, 16, 6,3, 4,3 und 3 mm und numerischen Aperturen von 0,17, 0,30, 0,50, 0,58, 0,81 und 0,80 vorgelegen und haben sich einzelne der Abbe'schen Probe gegenüber bewährt, während die übrigen noch einiges zu wünschen liessen. Die Bilder organischer Objecte zeigten dem entsprechend bei ersteren tadellose, bei der anderen noch brauchbare Zeichnung. Das auflösende Vermögen entsprach etwa den gleichnamigen Systemen von Leitz oder Zeiss mit gleicher numerischer Apertur.

Oculare liefert Boecker die gewöhnlichen Nr. I bis V zu 6 Mark, die orthoskopischen Nr. I bis IV zu 12 Mark und die periskopischen zu 15 Mark. Die letzteren gewähren, ohne die übliche Weite der Hülse der gewöhnlichen Oculare von Zeiss, Hartnack u. A. zu überschreiten, ein verhältnissmässig grosses Sehfeld, wodurch sie für den Gebrauch nicht zu unterschätzende Vortheile bieten.

121

Engelbert und Hensoldt in Wetzlar. Das Stativ Nr. 2 gleicht im Baue dem oben beschriebenen Stative *B* von Bénèche, hat aber den Objecttisch mit Hartgummi belegt. Mit den Trockensystemen 1, 2, 5, 8, dem Immersionssysteme XI, den Ocularen 1, 2, 3 und einem Ocularmikrometer ausgerüstet (2a. der Preisliste) stellt sich der Preis auf 380 Mark, mit den Trockensystemen 1, 3, 8, dem Immersionssysteme X, den Ocularen 1 bis 3 und Ocularmikrometer, aber ohne Drehung um die optische Achse (2b.) auf 300 Mark. Dieser Preis bleibt gleich, wenn das Stativ ohne Gelenk zur Neigung, aber mit Drehung um die optische Achse geliefert und mit den Trockensystemen 2, 6, 8, dem Immersionssysteme X und den Ocularen 1 bis 3 ausgerüstet wird (2c. der Preisliste).

Das feste mittlere Hufeisenstativ Nr. 3 (Fig. 121, a. f. S.), ist in seinem Träger dem älteren I von Zeiss nachgebildet. Der feste vierseitige Objecttisch ist ausreichend gross und es befindet sich die Mikrometerschraube zur feinen Einstellung unterhalb seiner Fläche, nahe über dem Fusse. Der Doppelspiegel ist seitlich verstellbar und die Blendungsscheibe enthält neben sechs Diaphragmen einen einfachen, in der Mitte abgeblendeten Condensor. Werden die Trockensysteme 1, 3, 6, 8, die

Oculare 1 bis 3 und ein Ocularmikrometer beigegeben, so beträgt der Preis 195 Mark.

Das Stativ Nr. 4 (Fig. 122) mit Hufeisenfuss und Rundsäule hat noch ausreichend grossen festen Objecttisch, seitlich beweglichen Spiegel und Blendscheibe. Die feine Einstellung geschieht mittelst Parallelogrammbewegung und ist die Schraube über der Tubussäule angebracht. Mit den Objectivsystemen 2, 5, 8 und den Ocularen 1, 2, 3 beträgt der Preis

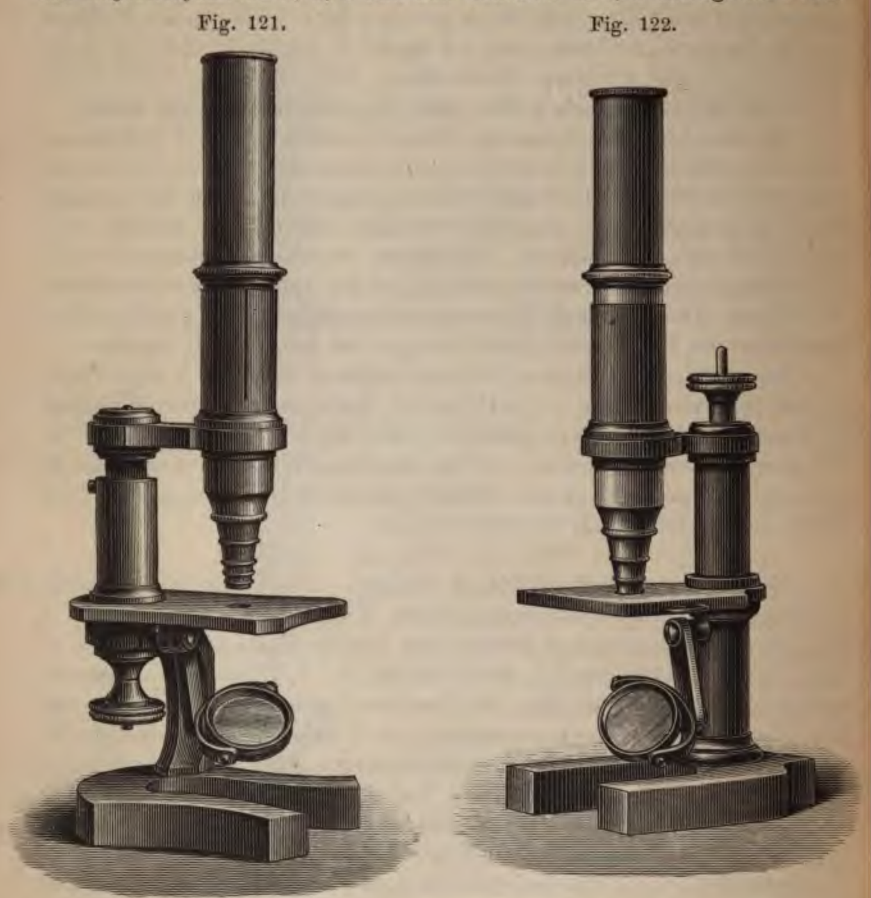


Fig. 121. Fig. 122.

170 Mark, mit den Systemen 2, 4, 8 und den Ocularen 1 und 2 oder 1 und 3 160 Mark.

Die Nummern 5 und 6 bilden dem Hartnack'schen Stative III ähnliche, kleine Stative, ersteres mit Hufeisen, letzteres mit Rundfuss und etwas kleineren Ausmaassen. Beide haben noch hinreichend räumlichen Tisch, seitlich verstellbaren Spiegel, Blendscheibe und feine Einstellung mittelst Mikrometerschraube über der Säule. Das erstere wird mit den

Objectivsystemen 2, 5, 8 und den Ocularen 1 und 3 (1 und 2) zu 135 Mark, das letztere mit den Objectivsystemen 3 und 8 und den Ocularen 1 und 3 zu 100 Mark berechnet.

Das Rohr ist bei sämmtlichen Stativen ohne Auszug und besitzt eine Länge von 175 mm. Von den Objectivsystemen, deren Engelbert und Hensoldt vierzehn Nummern fertigen, habe ich sämmtliche Trockensysteme 1 bis 10, sowie die beiden Immersionssysteme X und XI und zwar einzelne Nummern in mehreren Exemplaren älterer und neuester Construction kennen gelernt und dieselben zum Theil recht gut, zum Theil noch ganz brauchbar befunden.

Der Preis der einzelnen Systeme berechnet sich folgendermaassen: Nr. 1 ($f = 25{,}8$ mm; numerische Apertur 0,15) und 2 ($f = 17{,}5$; numerische Apertur 0,30) zu 15 Mark, Nr. 3 ($f = 13$ mm; numerische Apertur 0,42), 4 ($f = 11{,}5$ mm; numerische Apertur 0,42) und 5 ($f = 10$ mm; numerische Apertur 0,50) zu 24 Mark, Nr. 6 ($f = 7{,}8$ mm; numerische Apertur 0,65) zu 30 Mark, Nr. 7 ($f = 5$ mm; numerische Apertur 0,80) zu 35 Mark, Nr. 8 ($f = 3{,}7$ mm; numerische Apertur 0,88) zu 40 Mark, Nr. 9 ($f = 3$ mm; numerische Apertur 0,80) zu 50 Mark, Nr. 10 ($f = 2{,}5$ mm; numerische Apertur 0,88) zu 55 Mark, Nr. IX, X ($f = 2{,}45$mm; numerische Apertur 0,93), XI ($f = 1{,}6$ mm; numerische Apertur 0,92) und XII ohne Correction zu 50, 55, 110 und 135 Mark, mit Correction zu 65, 70, 125 und 150 Mark.

Die Oculare, den Kellner'schen ähnlich, haben wie diese ein grosses Gesichtsfeld und werden das Stück zu 6 Mark abgegeben.

Dr. E. Hartnack, Potsdam, Waisenstrasse 39. 122

Das mittlere Hufeisenstativ Nr. VIII A des neuesten Preisverzeichnisses stimmt, wie aus der Fig. 123 ersichtlich ist, in seinem Bau und seinen einzelnen Theilen mit dem bekannten grossen fast vollständig überein und wird mit dem verbesserten Hartnack'schen Beleuchtungsapparate von grosser Oeffnung ausgestattet. Seine Gesammthöhe beträgt ungefähr 300 mm. Die Fläche des vierseitigen, geschwärzten Objecttisches hat etwa 80 mm Seite und ist zwischen ihm und dem Fusse noch hinreichender Raum gelassen, um die freie Bewegung des Beleuchtungsapparates, der Polarisationsvorrichtung etc. zu gestatten. Je nach Ausstattung mit den Objectiven 4, 7, 8, 9 und 3 Ocularen, oder 4, 7, 8 $^1/_{12}$" homogener Immersion und 3 Ocularen und zum Ueberlegen eingerichtet, beträgt der Preis 380 und 500 Mark.

Das sogenannte (in der That gehört es zu den mittleren) neue kleine Stativ, Fig. 124 (a. f. S.), in dem Preisverzeichnisse unter Nr. VIII aufgeführt, ist in seiner Art ebenso vortrefflich wie die grösseren, und hat das Muster für eine grosse Anzahl unserer mittleren Stative abgegeben. Es ist ziemlich compendiös und bietet mit Ausnahme der Drehung um die optische Achse alle Vortheile der grösseren Stative.

Der Fuss ist gleichfalls hufeisenförmig, nur kleiner als bei den

grossen Stativen. Von seinem hinteren Theile erhebt sich die Rundsäule, welche den Objecttisch und den Körper trägt. Die grobe Einstellung geschieht durch Verschiebung des Rohres in der an dem Querarm befestigten, federnden Hülse, die feine mittelst des geänderten Mutterknopfes über der Säule. Der feste Objecttisch ist viereckig, 77 mm lang, 60 mm breit und steht 90 mm über der Fläche des Arbeitstisches. Der Spiegel ist mittelst seiner Kurbel an der Säule aufgehängt, in der Achse sowohl als ausserhalb der Achse beweglich. Der Blendungsapparat gleicht voll-

Fig. 123. Fig. 124.

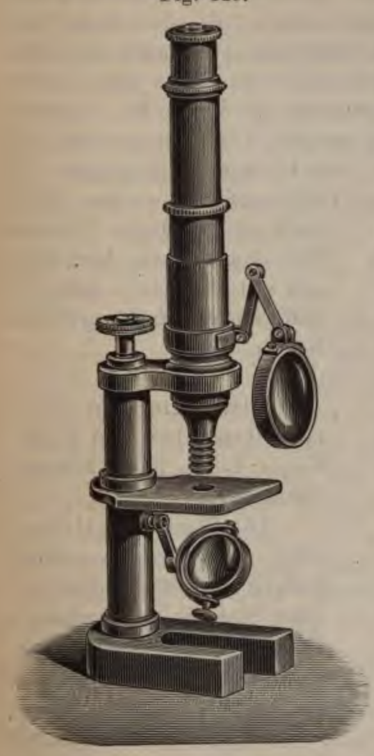


ständig demjenigen der grossen Stative. Das ganze Instrument hat bei ausgezogenem Rohre eine Höhe von 300 mm.

Mit den Systemen 4, 7 und 8, drei Ocularen (nach Wahl), einer Beleuchtungslinse und einem Ocularglasmikrometer versehen, kostet dasselbe 220 Mark, zum Umlegen 232 Mark. Wenn statt 8 das System 9 zum Eintauchen genommen wird, 312 resp. 324 Mark. In letzerem Falle hat man dann aber auch ein Instrument, welches für fast alle Untersuchungen der Pflanzen- und Thierhistologie vollkommen ausreicht. Will man eine noch vollständigere Ausrüstung, so steigt der Preis um die Preise der weiter beigegebenen Objectivsysteme.

Das kleine Stativ, Nr. III (Fig. 125) hat eine dem Nr. VII ähnliche Form, ist aber kleiner und hat statt der Cylinderblenden eine drehbare Blendungsscheibe. Mit den Systemen 4 und 7, den Ocularen 2 und 3 (besser noch 2 und 4) und einer Beleuchtungslinse kostet dasselbe 124 Mark, wenn System 8 und Ocular 4 (zu 2 u. 3) hinzukommen 164 Mark.

Fig. 125.



Das kleine Stativ II A. unterscheidet sich von dem vorausgehenden nur durch kleinere Dimensionen, vierseitigen Fuss und im oberen Theile dreikantige Säule. Mit der gleichen Ausrüstung wie bei jenem stellt sich der Preis auf 108 und 148 Mark.

Für die fünf Oculare, deren schwächstes das objective Bild etwa $3^1/_2$ mal vergrössert, ist das Verhältniss der Vergrösserungskraft wie 1 : 1,15 : 1,5 : 2,7 : 3,3. Jedes derselben wird mit 8 Mark berechnet.

Objectivsysteme liefert Hartnack 28 verschiedene Nummern und zwar diejenigen älterer Construction mit kleinem Oeffnungswinkel und grossem Objectabstande Nr. 1, 2, 3 und 4 à 16 Mark, Nr. 5 à 24 Mark, Nr. 6 u. 7 à 28 Mk., Nr. 8 à 32 Mk., Nr. 9 à 48 Mark; diejenigen neuerer Construction mit grosser numerischer Apertur Nr. 1 und 2 (f = 31 mm) à 16 Mark, Nr. 3 u. 4 (f = 10,6 mm; numerische Apertur 0,42) à 24 Mark, Nr. 5 (f = 5,8 mm; numer. Apertur 0,76 bis 0,79) à 28 Mark, Nr. 6 und 7 (f = 3,6 bis 4 mm; numerische Apertur 0,86 bis 0,97) à 32 Mark, Nr. 8 (f = 2,66 mm; numerische Apertur 0,93) à 40 Mark, Nr. 9 (f = 2,3 mm; numerische Apertur 0,98) à 60 Mark. Die zehn zum Eintauchen bestimmten und mit Verbesserungseinrichtung versehenen Systeme werden Nr. 9 (f = 2,3 mm; numerische Apertur 1,05) à 120 Mark, Nr. 10 (f = 1,9 mm; numerische Apertur 1,05) à 160 Mark, Nr. 11 à 200 Mark, Nr. 12 à 240 Mark, Nr. 13 à 280 Mark, Nr. 14 à 320 Mark, Nr. 15 à 360 Mark, Nr. 16 bis 18 à 400 Mark berechnet. Die drei Objective für homogene Immersion Nr. I, II und III, als $^1/_{12}''$, $^1/_{18}''$ und $^1/_{24}''$ bezeichnet, kosten je 200, 250 und 350 Mark.

In der Vervollkommnung seiner Objective, von denen mir aus neuester Zeit die Nummern 2, 4 bis 9 (5 und 7 in Combination von je 3 und je 4 Linsen) der Trockensysteme mit grossem Oeffnungswinkel, sowie 9, 10

und 14 der Eintauchsysteme zur Prüfung vorgelegen haben, namentlich auch in der Vergrösserung des Oeffnungswinkels hatte Hartnack schon vor zwanzig Jahren sehr bedeutende Fortschritte gemacht, seitdem hat er bei manchen Combinationen der Trockensysteme eine noch höhere numerische Apertur (allerdings unter Preisangabe des grösseren Objectabstandes) erstrebt und erreicht, so dass seine neueren Systeme dieser Art ein noch höheres Auflösungsvermögen zeigen, als die älteren von gleicher Nummer. Ausserdem besitzen dieselben meist auch eine ausreichende Verbesserung der Abweichungen und liefern ganz gute Bilder; so dass noch starke Oculare gut vertragen werden. Die Systeme für Wasserimmersion gehören in Bezug auf die Verbesserung der Abweichungen etc. mit zu dem Schönsten, was ich kenne, diejenigen für homogene Immersion, welche seit neuester Zeit angefertigt werden, sollen nach sachkundigem Urtheile bei numerischen Aperturen von 1,12 bis 1,15 sehr gut definiren und farblose Bilder liefern.

Fig. 126.



123

Otto Himmler (vormals Himmler und Bartling), Berlin S. W. Simeonstrasse 27.

Das Stativ Nr. II (Fig. 126), auf geschweiftem, demjenigen des ältesten Zeiss'schen Statives nachgeahmten Träger ruhend ist zum Ueberlegen eingerichtet. Der um die optische Achse drehbare Objecttisch ist rund und mit Kreistheilung und Schraubenvorrichtung zur genauen Centrirung versehen. Die Einstellungsvorrichtungen bestehen für die grobe aus Zahn- und Trieb-, für die feine aus Mikrometerschraube unter der Tubussäule mit Seibert'scher Parallelogrammbewegung. Der Beleuchtungsapparat besteht aus allseitig beweglichem Spiegel und Cylinderblendung mit Schlittenführung. Kommen zu diesem Stativ die Systeme 1, 3, 5, 10 mit Correction für Immersion, die Oculare I, II, IV, Ocularmikrometer zum Einschieben,

Polarisationsapparat, Revolvervorrichtung für vier Systeme, Oberhäuser'sches Zeichenprisma und Condensor, so beträgt der Preis 473 Mark. Besteht die Ausrüstung aus den Systemen 2, 5, 8, dem Immersionssysteme 11 mit Correction, den Ocularen I, II, III, Polarisationsapparat und einfachem Condensor, so vermindert sich der letztere auf 337 Mark, und wenn nur die Trockensysteme 2, 4, 6, 8 und die Oculare I, II, III beigegeben werden, auf 235 Mark.

Stativ Nr. III ist bei gleichen Maassverhältnissen dem vorigen ähnlich gebaut, hat aber festen, ausreichend grossen vierseitigen, nicht drehbaren, mit Hartgummi belegten Objecttisch, und grobe Einstellung durch Verschiebung des Rohres. Werden die Trockensysteme 2, 4, 7, 9, das Immersionssystem 11 mit Correction, die Oculare I, II, IV, Ocularmikrometer zum Einschieben und einfacher Condensor beigegeben, so kostet dieses Mikroskop 298 Mark, mit den Trockensystemen 3, 5, 8, 10 und den Ocularen I und III 224 Mark, mit den Systemen 1, 4, 8 und den Ocularen I und III 777 Mark.

Das feste mittlere Mikroskop Nr. IV besitzt bei etwas verkleinerten Dimensionen im Ganzen Einrichtung und Form des Nr. III und kommt bei Zugabe der Objectivsysteme 2, 5, 8, des Immersionssystemes 11 mit Correction, der Oculare I, II und IV, eines Ocularmikrometers zum Einschieben und einfachen Condensors auf 232 Mark, mit den Systemen 2, 5, 8, den Ocularen II, IV und Ocularmikrometer auf 149 Mark, mit den Systemen 3 und 8 und den Ocularen I und III auf 123 Mark zu stehen.

Die beiden kleinen (Studir-) Mikroskope Nr. V und Va besitzen im Wesentlichen einen übereinstimmenden, demjenigen der kleinen Seibert'schen Mikroskope ähnlichen Bau; ersteres mit Hufeisenfuss hat Gelenk zum Ueberlegen, letzteres mit vierseitigem Fuss hat feste Säule. An die Stelle der Cylinderblenden tritt bei ihnen die glockenförmige Drehscheibe, während die Einstellung die gleiche bleibt, wie bei den zuletzt beschriebenen Stativen. V mit den Objectivsystemen 2, 4 und 7, den Ocularen I und IV und Ocularmikrometer kostet 125 Mark, Va mit den Systemen 3 und 8 und den Ocularen I und III 100 Mark, mit den Systemen 1 und 5 und den genannten Ocularen 87 Mark.

Oculare fertigt Himmler vier Nummern von je 48, 36, 24 und 18 mm Aequivalentbrennbreite zu 7 Mark. Von den 18 Objectivsystemen, von welchen die mittleren und starken auf etwa 0,2 mm Deckglasdicke justirt sind, werden berechnet: die Trockensysteme Nr. 0 zu 20 Mark, Nr. 1, 2 ($f = 24$ mm; numerische Apertur 0,20), Nr. 3 ($f = 19$ mm; numerische Apertur 0,21) und Nr. 4 ($f = 15{,}5$ mm; numerische Apertur 0,22) zu 15 Mark, Nr. 5 ($f = 11$ mm; numerische Apertur 0,37) zu 18 Mark, Nr. 6 zu 24 Mark, Nr. 7 ($f = 5{,}3$ mm; numerische Apertur 0,86) zu 27 Mark, Nr. 8 ($f = 3{,}9$ mm; numerische Apertur 0,78) zu 30 Mark, Nr. 9 ($f = 3$ mm; numerische Apertur 0,90) zu 26 Mark, 9 a mit Correction zu 52 Mark, Nr. 10 zu 44 Mark, 10 a ($f = 2{,}3$ mm; numerische Apertur

0,91) mit Correction zu 60 Mark, die Immersionssysteme Nr. 11 zu 54 Mark, 11 a mit Correction ($f = 1,9$ mm; numerische Apertur 1,09) zu 70 Mark, Nr. 12 (1,28 mm) zu 90 Mark, Nr. 13 (1,02 mm) zu 110 Mark, Nr. 14 (0,77 mm) zu 160 Mark (Nr. 12 bis 14 mit Correction).

Aus eigener Anschauung sind mir die Nummern 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10 a und 11 a bekannt und habe ich mehrere namentlich solche mit verhältnissmässig nicht zu grosser numerischer Apertur recht brauchbar gefunden.

124 **J. Klönne & G. Müller**, Berlin S., Prinzenstrasse Nr. 69, haben in neuester Zeit erst ihre optische Werkstätte errichtet. Dieselben führen eine grössere Anzahl von verschieden ausgestatteten Mikroskopformen, von denen hier namentlich jene von dem „mittleren Mikroskope“ bis zu dem „Arbeitsmikroskope für Apotheker“ in Betracht kommen.

Das mittlere Stativ bildet ein dem Stativ *B* von Bénèche ähnliches Hufeisenstativ zum Umlegen und mit Drehung um die optische Achse, besitzt grobe Einstellung durch Rohrschiebung, feine durch Mikrometerschraube mit Kreistheilung und Cylinderblenden in Schlitten. Werden demselben die Objectivsysteme 5, 7 und 9 (Immersion), drei Oculare, ein Ocularmikrometer etc. beigegeben, so stellt sich sein Preis auf 220 Mark, mit zwei Objectivsystemen 5, 7 und zwei Ocularen auf 160 Mark. Ohne Drehung des Objecttisches und Kreistheilung der Mikrometerschraube und mit Cylinderblenden an drehbarem Arme zum Hervorklappen vermindert sich der Preis um 40 beziehentlich 25 Mark, und wenn auch die Einrichtung zum Umlegen wegfällt, um 50 resp. 45 Mark.

Das „Studentenmikroskop“ Stativ Nr. 4 mit eisernem Hufeisenfusse entspricht in der Einrichtung etwa den Stativen VII Zeiss, V Leitz, III Hartnack etc., und wird mit den Objectivsystemen 5 und 7, zwei Ocularen, einem Ocularmikrometer, feuchter Kammer etc. ausgestattet zu 100 Mark berechnet.

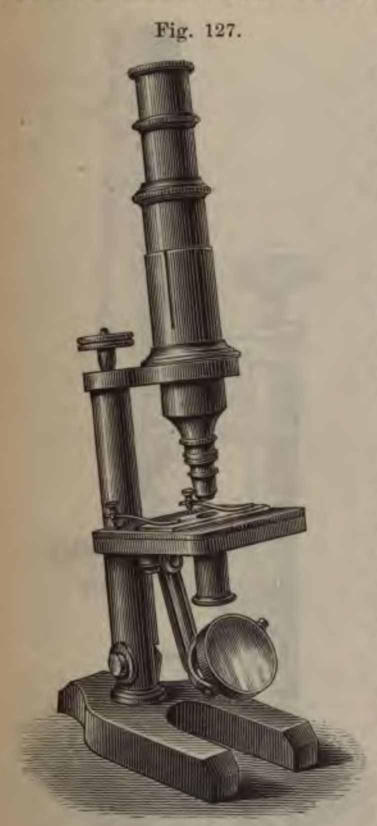
Das „Arbeitsmikroskop für Apotheker“, grössere Form, (Fig. 127) mit eisernem Hufeisenfusse, zum Umlegen eingerichtet und mit Cylinderblenden an hervorzuschlagendem Arme erhält die Objectivsysteme 1, 2, 3, zwei Oculare, ein Ocularmikrometer etc. und wird zu 100 Mark (oder entsprechend der gewünschten optischen Ausstattung) berechnet. Die kleinere Form, ein Stativ dem vorigen ähnlich, aber ohne Cylinderblenden und mit den Systemen 1 und 3 und zwei Ocularen ausgestattet kostet 70 Mark.

Oculare fertigen Klönne & Müller sechs verschiedene Nummern mit der Aequivalentbrennweite von 70, 52, 38, 32, 23 und 16 mm und berechnen die gewöhnlichen zu 6, die achromatischen zu 18 Mark. Objectivsysteme liefern dieselben, soweit sie hier in Betracht kommen, 14 Nummern mit folgenden in dem Preisverzeichnisse angegebenen Brennweiten und Oeffnungswinkeln zu den beigesetzten Preisen. Nr. 1: 15 mm, 24° 9 Mark, Nr. 2: 7,8 mm und 58° 15 Mark, Nr. 3: 3,8 mm 24 Mark, Nr. 4: 24 mm 20° 14 Mark, Nr. 5: 16 mm 30° 14 Mark,

Nr. 6: 7,9 mm 63° 22 Mark, Nr. 6a: 5,5 mm 100° 25 Mark, Nr. 7: 3,6 mm 130° 30 Mark, Nr. 8: 2,5 mm 150° 40 Mark, Nr. 9: 1,9 mm 155° 55 Mark, Nr. 9 Immersion und Nr. 9 Immersion und Correction: 1,9 mm 175° je 60 und 80 Mark, Nr. 10 Immersion und Nr. 10 Immersion und Correction: 1,5 mm 180° je 100 und 120 Mark.

Von diesen Systemen haben mir die Trockensysteme Nr. 4 ($f =$ 22 mm; numerische Apertur 0,18), 5 ($f =$ 14,4 mm; numerische Apertur 0,23), 7 ($f =$ 3,9 mm; numerische Apertur 0,86) und 9 ($f =$ 2,2 mm; numerische Apertur 0,92) und das Immersionssystem Nr. 9 mit Correction ($f =$ 2 mm; numerische Apertur 1,05) zur Prüfung vorgelegen und die Nrn. 4, 9 sich als gelungen bewährt.

Fig. 127.



125 **E. Leitz** (früher Belthle, C. Kellner's Nachfolger) in Wetzlar. Von den Leitz'schen Instrumenten, welche in neuerer Zeit mehrfach die Form der Stative gewechselt haben, sind folgende zu erwähnen.

Stativ Ib (Fig. 128, a. f. S.) mit oder ohne Drehung um die optische Achse, besitzt grobe Einstellung durch Rohrschiebung, feine durch Mikrometerschraube und ist zum Umlegen eingerichtet. Es wird sowohl mit dem gewöhnlichen Beleuchtungsapparate, mit Cylinderblenden an beweglichem Arme, als mit dem Abbe'schen Beleuchtungsapparate versehen. Mit letzterem, den Systemen 3, 7, $^1/_{12}$″ homogene Immersion, den Ocularen I und III aber ohne Drehung um die Achse (die Ausrüstung, in welcher es für Bacterienuntersuchungen gewöhnlich abgegeben wird) beträgt sein Preis 290 Mark, ohne Abbe'schen Beleuchtungsapparat mit den Systemen 3, 6, 8 und den Ocularen I und III 175 Mark.

Das mittlere Stativ Nr. II, ein vergrössertes Hartnack VIII, ist nicht zum Ueberlegen eingerichtet, aber um die optische Achse drehbar. Mit Beigabe der Trockensysteme 1, 4, 7, des Immersionssystemes 9, der Oculare I, III, V und eines Ocularmikrometers wird es zu 250 Mark; der Trockensysteme 3, 6, 8, Oculare I, III, V und Ocularmikrometer zu 185 Mark; der Systeme 3, 7 und der Oculare I, III, V zu 150 Mark berechnet.

Das etwas kleinere mittlere Stativ tritt in zwei Formen, IIIa und IIIb auf, von denen die erstere bei etwas kleineren Dimensionen und mangelnder Drehung um die optische Achse dem Nr. II gleicht, die andere sich durch geschweiften Träger und Anbringung der Mikrometerschraube unter der Tubussäule unterscheidet. Für beide beträgt der Preis ohne optischen Apparat 60 Mark, mit den Trockensystemen



Fig. 128. Fig. 129.

3, 5, 7, dem Immersionssysteme 9 und den Ocularen I, III 200 Mark, mit den gleichen Ocularen und den Systemen 3, 6, 8 oder 3, 5, 7 oder 3, 7 je 150, 135, 110 Mark (Nr. 9 bis 12 der Preisliste).

Das für Laboratoriumszwecke noch ausreichende kleine Modell Nr. IV (Fig. 129) mit noch räumlichem festem Tische, seitlich verstellbarem Spiegel und Blendungsscheibe, welche auf Wunsch und gegen 6 Mark Preiserhöhung auch durch einfache Cylinderblende zum Abnehmen ersetzt wird, hat die grobe Einstellung durch Verschiebung, die feine

durch die bekannte Parallelogrammbewegung über der Tubussäule und kostet mit den Systemen 3, 5, 7 und den Ocularen I, III 105 Mark, mit denselben Ocularen und den Systemen 3 und 7 85 Mark (Nr. 13 und 14 der Preisliste).

Leitz liefert siebzehn verschiedene Objectivsysteme und zwar neun Trockensysteme mit den Nummern 1 bis 9, fünf Wasserimmersionssysteme mit den Nummern 8 bis 12 und drei Systeme für homogene Immersionen $^1/_{12}$″, $^1/_{16}$″ und $^1/_{20}$″. Von ihnen sind die mittleren und starken für eine Deckglasdicke von 0,16 bis 0,18 mm justirt, das Trockensystem 9, sowie die Immersionssysteme 9 bis 12 mit Correctionsvorrichtung nach Zeiss'schem Principe und Bezifferung für die Deckglasdicken 0,1 bis 0,2 mm versehen. Eine Anzahl Nummern hatte ich Gelegenheit während der letzten Jahre in mehreren Exemplaren durchzuprüfen, und ergaben dieselben in Bezug auf die Zeichnung nahezu gleiche meist befriedigende Resultate, während die numerische Apertur etwas wechselte.

Die Preise sind folgende: 1. (f = 32,8 mm; numerische Apertur 0,11), 2. (f = 24,7 mm; numerische Apertur 0,15) und 3. (f = 15,5 mm; numerische Apertur 0,26): 15 Mark, 4. (f = 10,6 mm; numerische Apertur 0,26) und 5. (f = 6,2 mm; numerische Apertur 0,80): 25 Mark, 6. (f = 5 mm; numerische Apertur 0,80): 30 Mark, 7. (f = 4,1 mm; numerische Apertur 0,85): 32 Mark, 8. (f = 2,7 mm; numerische Apertur 0,87): 40 Mark, 9. (mit Correction, f = 2,3 mm; numerische Apertur 0,87): 70 Mark, 9 a. (Immersion, f = 2,1 mm; numerische Apertur 1,10): 75 Mark, 10. (f = 2,2 mm; numerische Apertur 1,10 bis 1,15): 100 Mark, 11. (f = 1,8 mm; numerische Apertur 1,05 bis 1,15): 130 Mark, 12. (f = 1,05 mm; numerische Apertur 1,15): 180 Mark, $^1/_{12}$″ (f = 1,8 mm; numerische Apertur 1,20 bis 1,25): 100 Mark, $^1/_{16}$ (f = 1,45 mm; numerische Apertur 1,20 bis 1,25): 150 Mark, $^1/_{20}$ (f = 1,25 mm; numerische Apertur 1,20 bis 1,25): 200 Mark.

Die gewöhnlichen Oculare 0 bis V werden mit je 6 Mark, die orthoskopischen 0, I, III, V mit 12 Mark berechnet.

Sigmund Merz, unter der Firma: G. und S. Merz in München, vormals Utzschneider und Fraunhofer. **126**

Das mittlere Hufeisenstativ Nr. II (Fig. 130, a. f. S.) besitzt einen feststehenden, vierseitigen Objecttisch und eine zum Arbeiten bequeme Höhe. Die grobe Einstellung geschieht mittelst Schiebung des Rohres, die feine durch Mikrometerbewegung wie bei Nr. 1. Der Doppelspiegel ist nur seitlich verstellbar, die Blendungsscheibe nicht zum Verschieben. Mit den Objectivsystemen $^1/_3$″ und $^1/_{12}$″ und vier Ocularen (Nr. 3 der Preisliste) stellt sich der Preis auf 150 Mark. Wird das Stativ etwas einfacher und dazu die genannten Systeme mit drei Ocularen geliefert (Nr. 4) 120 Mark.

Stativ Nr. II wird auch in etwas abgeänderter Form (Modell Donders) mit grober Einstellung durch Zahn und Trieb und Ein-

richtung zum Gebrauche als einfaches Präparirmikroskop geliefert (Nr. 8 der Preisliste), und dann mit den Objectivsystemen $^1/_3''$ und $^1/_{12}''$, vier Ocularen und einem Ocularmikrometer versehen zu 180 Mark berechnet.

Das kleine Stativ erscheint für wissenschaftliche Zwecke nicht mehr ausreichend und kann daher unberücksichtigt bleiben.

Die Objectivsysteme, mit Ausnahme der unter 1,0 bleibenden numerischen Apertur der Immersionssysteme, welche bezüglich ihrer Leistungen im Ganzen auf der Höhe der Zeit stehen, bilden drei Gruppen: die 1″, $^1/_2''$ und $^1/_3''$ (f = 13 mm; numerische Apertur 0,20) zu 24 Mark, dann $^1/_6''$, $^1/_9''$ (f = 4,6 mm; numerische Apertur 0,92) und $^1/_{12}''$ (f = 3,3 mm; numerische Apertur 0,92) zu 48 Mark sind Trockensysteme, $^1/_{15}''$ und $^1/_{18}''$ (f = 2,4 mm; numerische Apertur 0,90) zu 72 Mark können als Trocken- oder als Immersionssysteme geliefert werden, während $^1/_{21}$ und $^1/_{24}$ (f = 1,2 mm; numerische Apertur 0,99) nur für Immersion bestimmt sind. Verbesserungseinrichtung erhöht den Preis um je 15 Mark.

Fig. 130.



Die Oculare 1, $1^1/_2$, 2, $2^1/_2$, 3 und 4, deren Vergrösserungsverhältniss ihren respectiven Nummern entspricht, werden mit 10 Mark pro Stück berechnet.

127 **S. Plössl & Comp.**, IV, Goldegg-Gasse 6 in Wien (Inhaber: k. k. Hofoptiker-Mechaniker Wagner) haben sich in neuerer Zeit in dem Baue der Stative den Bedürfnissen der Mikroskopiker mehr anbequemt, so dass die aus ihr hervorgehenden Instrumente, sowohl was diese als die vollständige optische Ausstattung betrifft, allen Anforderungen Genüge zu leisten im Stande sind.

Das mittlere Stativ (Fig. 131) bildet ein zweckmässig eingerichtetes Hufeisenstativ mit drehbarem Tische, guten Einstellvorrichtungen (grobe Einstellung mittelst Hebelvorrichtung), verstellbarem Doppelspiegel und Cylinderblenden mit Schlittenführung. Mit den Trockensystemen *A*, *C*, *F*, dem Immersionssysteme *J*, fünf orthoskopischen Ocularen, zwei Glasmikrometern, Beleuchtungslinse auf Stativ, Lupe und Präparirbesteck ausgerüstet — Nr. 2 der Preisliste — kostet dasselbe 700 Mark (350 G. ö. W.).

Das feste mittlere Stativ von gleicher Grösse und ähnlichem Bau wie das vorige und mit Drehung des Tisches um die optische Achse entbehrt der Hebelvorrichtung zur groben Einstellung und hat dafür

Schiebung des Rohres in ausgefütterter Hülse. Mit gleicher Ausrüstung wie Nr. 2 beträgt dessen Preis 640 Mark (320 G. ö. W.).

Das kleine Hufeisenstativ ist dem Stative VIII von Hartnack nachgebildet, hat aber wie die vorhergehenden den Tisch mit geschwärzter Glasplatte belegt. Werden demselben die Trockensysteme *B*, *E*, das Immersionssystem *J* und die Oculare I, III und V beigegeben — Nr. 5 der Preisliste —, so kostet es 390 Mark (195 G. ö. W.), mit den drei Trockensystemen *B*, *D* und *F* und vier Ocularen 350 Mark (175 G. ö. W). Die Einrichtung zum Ueberlegen erhöht den Preis um 30 Mark (15 G. ö. W.).

Fig. 131.



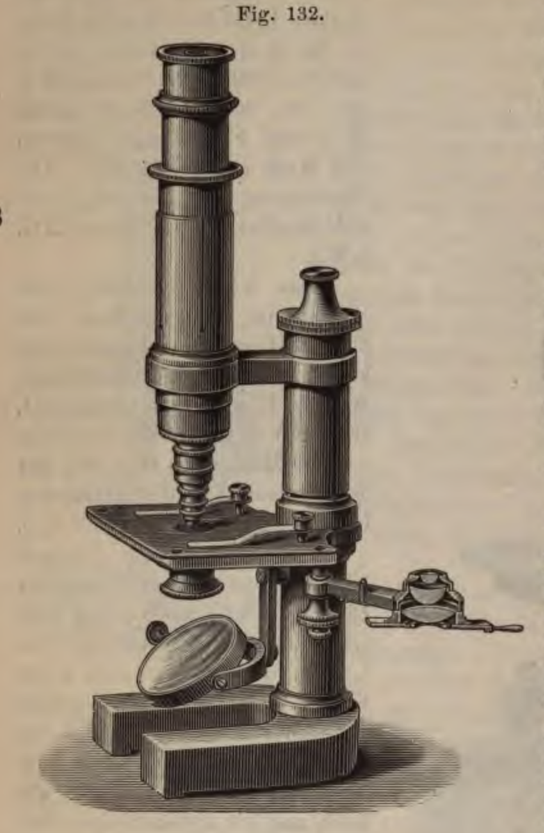
Das kleine Stativ entspricht im Wesentlichen dem Stativ III von Hartnack und kostet mit den Objectivsystemen *B* und *E* und den Ocularen I, III und V — Nr. 7 der Preisliste — 220 Mark (110 G. ö. W.) mit dem Systeme *E* und den Ocularen II und IV 180 Mark (90 G. ö. W.).

Plössl & Comp. fertigen 12 Oculare: fünf gewöhnliche zu 12 Mark (6 G. ö. W.) und fünf orthoskopische zu 16 Mark (8 G. ö. W.) mit den Nummern I bis V und den Vergrösserungsverhältnissen 1 : 1,2 : 1,5 : 2 : 2,5, ein Vollglasocular zu 16 Mark (8 G. ö. W.) etwa dreimal so stark wie Nr. I, und ein aplanatisches Ocular zu 24 Mark (12 G. ö. W.) etwa halb so stark wie Nr. I.

Die Objectivsysteme, welche in Blechbüchsen verschlossen abgegeben werden, und von denen mir sechs verschiedene, in ihren Leistungen vortreffliche, vorgelegen haben, bilden 14 Nummern, darunter acht Trockensysteme und sechs Wasserimmersionssysteme. Die stärkeren ohne Correctionsvorrichtung werden für 0,15 bis 0,20 Deckglasdicke berichtigt, und die Preise der einzelnen Nummern sind folgende: *A* (31 mm; numerische Apertur 0,12) 24 Mark (12 G.), *B* (13 mm) 28 Mark (14 G.), *C* (11 mm; numerische Apertur 0,35) 32 Mark (16 G.), *D* (7 mm) 40 Mark (20 G.), *E* (4,5 mm; numerische Apertur 0,82) 50 Mark (25 G.), *F* (3 mm)

64 Mark (32 G.), *G* (2,5 mm; numerische Apertur 0,90) 90 Mark (45 G.), *H* mit Correction (1,8 mm) 150 Mark (75 G.), *I* Immersion ohne Correction (1,8 mm) 100 Mark (50 G.), *J* Immersion mit Correction (1,8 mm; numerische Apertur 1,09) 150 Mark (75 G.), *K* Immersion mit Correction (1,5 mm) 210 Mark (105 G.), *L* Immersion mit Correction (1,1 mm) 250 Mark (125 G.), *M* Immersion mit Correction (1 mm; numerische Apertur 0,98) 300 Mark (150 G.), *N* Immersion mit Correction (0,5 mm) 400 Mark (200 G.).

Fig. 132.



128 **Carl Reichert** in Wien (VIII Josefstadt, Bennogasse Nr. 26) hat Stative fast sämmtlich nach dem Muster von E. Leitz gebaut und stehen dieselben ihren Vorbildern vollständig gleich.

Das Stativ II *e*, dem III von Leitz entsprechend, wird um 100 Mark, zum Ueberlegen eingerichtet um 116 Mark abgegeben und kommt mit den Trockensystemen 2, 4, 7, 9, Immersionssystem XII, den Ocularen I, III, V, und Mikrometerocular auf 440 Mark, mit den Trockensystemen 1, 3, 5, 8, dem Immersionssysteme XI, den Ocularen I, III, V und Ocularmikrometer auf 346 Mark zu stehen.

Für das mittlere Stativ III beträgt der Preis 80 Mark, zum Ueberlegen 92 Mark. Dasselbe wird in neuester Zeit mit einem vereinfachten Abbe'schen Beleuchtungsapparate versehen (Fig. 132), welcher zwar nicht alle Vortheile der ursprünglichen Vorrichtung bietet, für viele Zwecke (Bacterienuntersuchungen u. s. w.) aber ausreichend erscheint. In dieser Form und ausgerüstet mit den Systemen 3, 7, $^1/_{15}''$ homog. Immersion und den Ocularen I, III und V beträgt der Preis 358 Mark beziehentlich 370 Mark. Mit den Systemen 3, 6, 8, Immersion X (ohne

Correction), den drei Ocularen I, III, V und Ocularmikrometer berechnet sich derselbe zu 280 Mark, mit den Systemen 3, 7, Immersion IX und den Ocularen II, III, V zu 220 Mark, mit den Systemen 3, 6, 8 und den Ocularen II, III, V zu 200 Mark, mit den Systemen 3, 5, 7 und den Ocularen II, IV zu 180 Mark, endlich mit den Systemen 3, 7 und den Ocularen II, IV 150 Mark.

Das kleine Stativ IV kostet 40 Mark, mit den Systemen 3, 6, 8 und den Ocularen II, IV 140 Mark, mit den Systemen 3, 7 und den Ocularen II, IV zu 100 Mark.

Ein Reisemikroskop, das sich zusammenlegen lässt und einen nur kleinen Raum einnimmt, wird mit dem System 3, 7 und dem Ocular I ausgestattet und in feinem Lederetui verpackt um 150 Mark abgegeben.

Die Objectivsysteme, von welchen die stärkeren auf eine Deckglasdicke von 0,16 bis 0,18 mm justirt sind und nach meinen Prüfungen in ihren Leistungen allen Anforderungen entsprechen, bilden in den Nummern 1 bis 9 Trockensysteme, in den Nummern IX, X, XI, XII, XV und XVIII Wasserimmersionssysteme, und sind zu ihnen in neuester Zeit noch zwei (Nr. 18 bis 19 b) Systeme für homogene Immersion: $^1/_{15}''$ und $^1/_{20}''$ hinzugekommen. Die Preise betragen für Nr. 1: 8 Mark, Nr. 1 a, 2 ($f = 27$ mm; numerische Apertur 0,15) und 3 ($f = 15$ mm; numerische Apertur 0,26): 20 Mark, Nr. 4 ($f = 11$ mm; numerische Apertur 0,35): 24 Mark, Nr. 5: 28 Mark, Nr. 6 ($f = 5{,}3$ mm; numerische Apertur 0,74): 32 Mark, Nr. 7 ($f = 4$ mm; 0,82): 36 Mark, Nr. 8 ($f = 2{,}5$ mm; numerischer Apertur 0,82 bis 0,92): 40 Mark, Nr. 9 ($f = 2{,}2$ mm; numerische Apertur 0, 95): 60 Mark, Nr. 9* (Correction [1]): 80 Mark, Nr. IX (ohne Correction): 60 Mark, Nr. X: 100 Mark, Nr. XI ($f = 1{,}9$ mm; numerische Apertur 1,15): 120 Mark, Nr. XII ($f = 1$ mm; numerische Apertur 1,17): 160 Mark, Nr. XV: 240 Mark, Nr. XVIII: 360 Mark $^1/_{15}''$ ($f = 1{,}6$ mm; numerische Apertur 1,17 bis 1,30): 120 bis 200 Mark, $^1/_{20}''$ ($f = 1{,}3$ mm; numerische Apertur 1,20): 200 bis 300 Mark, mit 1,30 bis 1,35 numerischer Apertur je 300 und 400 Mark.

Oculare führt Reichert sechs gewöhnliche Nr. 0 bis V, vier orthoskopische Nr. I bis IV, sowie ein Vollglasocular Nr. VI und werden erstere mit 8, die anderen mit 16 Mark, das letztere mit 12 Mark berechnet.

F. W. Schieck, Berlin, S. W. Halle'sche Strasse Nr. 14. Schieck's neuere Stative weichen von den früheren, unbequemen hohen Stativen gänzlich ab, und schliessen sich im Wesentlichen in ihrem Baue den Hartnack'schen Modellen an, so dass sie eine für den praktischen Beobachter weit bequemere und handlichere Gestalt erlangt haben. **129**

Das grosse Stativ *C* mit grober Einstellung durch Zahn und Trieb, ohne Gelenk zum Ueberlegen ist zu anatomischen Zwecken gebaut, 32 cm hoch und mit 14 cm langem, 11 cm breitem, durch Klappen noch weiter zu vergrösserndem Objecttische versehen (Fig. 133, a. f. S.). Dasselbe

kostet mit den Trockensystemen 1, 3, 4, 5, 7, 8, dem Immersionssystem 9 und vier Ocularen mit grossem Gesichtsfeld (*C* der Preisliste) 600 Mark, mit den Trockensystemen 1, 4, 7, 8, dem Immersionssystem 9 und vier Ocularen (*Cb* der Preisliste) 540, während es ohne Ausrüstung zu 240 Mark berechnet wird.

Das mittlere, 31 cm hohe Hufeisenstativ *E* gleicht im Baue dem Modell VIII Hartnack's zum Ueberlegen, hat aber etwas grössere Ausmaasse und um die optische Achse drehbaren Objecttisch. Für sich kostet es 120 Mark, mit den Systemen 1, 3, 4, 5, 7, 9 (Immersion) und vier Ocularen (*Ea*) 400 Mark, mit den Systemen 1, 3, 5, 7, 9 (Immersion) und vier Ocularen (*Eb*) 365 Mark, mit den Trockensystemen 1, 3, 5, 7, 9 und vier Ocularen (*Ec*) 300 Mark, mit den Trockensystemen 1, 4, 7, 8 und vier Ocularen 250 Mark.

Fig. 133.



Stativ *F*, 30 cm hoch, feststehend, entspricht dem festen Stativ VIII Hartnack's vollständig und gilt von ihm das dort Gesagte. Sein Preis beträgt 75 Mark. Wird dasselbe mit drehbarem Tisch, oder mit doppelt so grossem Sehfeld, oder zum Ueberlegen gewünscht, so steigt der Preis in jedem einzelnen Falle um 30 Mark. Die optische Ausstattung wird sehr verschieden geliefert, jedoch befinden sich bei den verzeichneten Nummern stets drei Oculare und es ändern sich die Preise nach Anzahl und Nummern der Objective wie folgt: *Fa*: 1, 3, 5, 7 und 9 (Immersion) 300 Mark, *Fb*: 1, 3, 5, 7 und 9 240 Mark, *Fc*: 1, 3, 5, 7 und 8 225 Mark, *Fd*: 1, 4, 7 und 9 (Immersion) 270 Mark, *Fe*: 1, 4, 7 und 9 225 Mark, *Ff*: 1, 4, 7 und 8 210 Mark, *Fg*: 1, 3, 5 und 7 195 Mark, *Fh*: 4, 7 und 8 195 Mark, *Fi*: 3, 5 und 7 180 Mark, *Fk*: 1, 4 und 8 175 Mark, *Fl*: 1, 4 und 7 160 Mark, *Fm*: 4 und 8 156 Mark, *Fn*: 4 und 71 50 Mark, *Fo*: 3 und 5 135 Mark.

Das „grosse Bacterien-Mikroskop“ zum Ueberlegen *FA* (Fig. 134) hat grobe Einstellung mittelst Zahn und Trieb und wird mit achromatischem Beleuchtungsapparat mit Schieberblenden und senkrechter Bewegung versehen. Mit den Objectiven 1, 4, 7, 8 und $^1/_{12}''$ homogener

Fig. 134.

Fig. 135.

Immersion und 2 Ocularen 0 und 2 beträgt sein Preis 400 Mark, ohne das $^1/_{12}''$ 280 Mark.

Stativ *G* ist dem *F* fast genau gleich gebaut, hat aber statt Cylinderblenden eine Drehscheibe. Sein Preis beträgt 60 Mark. Mit zwei Ocularen und folgenden Objectivsystemen ausgestattet kosten: *Ga*: 1, 4, 7 und 8 180 Mark, *Gb*: 4, 7 und 8 170 Mark, *Gc*: 1, 3, 5 und 7 165 Mark, *Gd*: 3, 5 und 7 150 Mark, *Ge*: 1, 4 und 8 140 Mark, *Gf*: 1, 4 und 7 125 Mark, *Gg*: 4 und 7 115 Mark, *Gh*: 3 und 5 110 Mark.

Das kleine Stativ *H* („Studentenmikroskop") entspricht dem Modell III Hartnack's und wird mit 48 Mark, zum Ueberlegen eingerichtet mit 55 Mark berechnet. Unter Beigabe von zwei Ocularen und nachgenannten Objectivsystemen wechselt sein Preis in folgender Weise: *Ha*: 1, 3, 5, 7 und 9 (Immersion) 225 Mark, *Hb*: 1, 3, 5, 7 und 9 180 Mark, *Hc*: 1, 4, 7 und 9 (Immersion) 200 Mark, *Hd*: 1, 4, 7 und 9 160 Mark, *He*: 1, 4, 7 und 8 150 Mark, *Hf*: 4, 7 und 8 140 Mark, *Hg*: 1, 4 und 8 120 Mark, *Hh*: 1, 3, 5 und 7 130 Mark, *Hi*: 4 und 8 110 Mark, *Hk*: 3, 5 und 7 120 Mark, *Hl*: 1, 4 und 7 100 Mark, *Hm*: 4 und 7 90 Mark, *Hn*: 3 und 5 75 Mark.

Das „kleine Studenten-Bacterien-Mikroskop" *HA* (Fig. 135, a. v. S.) ist gleichfalls zum Ueberlegen eingerichtet, hat die grobe Einstellung durch Zahn und Trieb und erhält einen einfachen (ob ausreichenden?) Beleuchtungsapparat mit senkrechter Bewegung. Mit den Systemen 1, 3, 7 und $^1/_{12}$″ homogener Immersion aus den Ocularen 0 und 2 wird es zu 250 Mark, ohne das $^1/_{12}$″ zu 130 Mark berechnet.

Oculare construirt Schieck sechs einfache 0, 1, 2, 3, 4 und 5 zu 10 Mark und fünf achromatische zu 15 Mark das Stück. Die Objectivsysteme bilden achtzehn Nummern zu folgenden Preisen: die Trockensysteme Nr. 00 (101,6 mm) 20 Mark, Nr. 0 (76,2 mm) 18 Mark, Nr. 1 (50,8 mm) 15 Mark, Nr. 2 (25,4 mm) 18 Mark, Nr. 3 (19 mm) 25 Mark, Nr. 4 (12 mm) 30 Mark, Nr. 5 (6,3mm) 35 Mark, Nr. 6 (5 mm) 42 Mark, Nr. 7 (4,2 mm) 45 Mark, Nr. 8 (3,2 mm) 50 Mark, Nr. 9 (2,5 mm) 60 Mark; die Immersionssysteme mit Correctionseinrichtung Nr. 9 (2,1 mm) 120 Mark, Nr. 10 (1,6 mm) 150 Mark, Nr. 11 (1,4 mm) 195 Mark, Nr. 12 (1,0 mm) 225 Mark, Nr. 13 (0,7 mm) 270 Mark, Nr. 14 (0,6 mm) 300 Mark, Nr. 15 (0,5 mm) 375 Mark.

Leider war es mir nicht vergönnt, die neuesten Objectivsysteme der altbekannten Werkstätte einer näheren Prüfung zu unterziehen, da Herr Schieck die zugesagte Vorlage derselben nicht zur Ausführung brachte. Ich kann also über Brennweiten, numerische Aperturen u. s. w. keine Angaben machen, will aber hinzufügen, dass die Oeffnung schon bei älteren Systemen aus den 70er Jahren eine sehr grosse war.

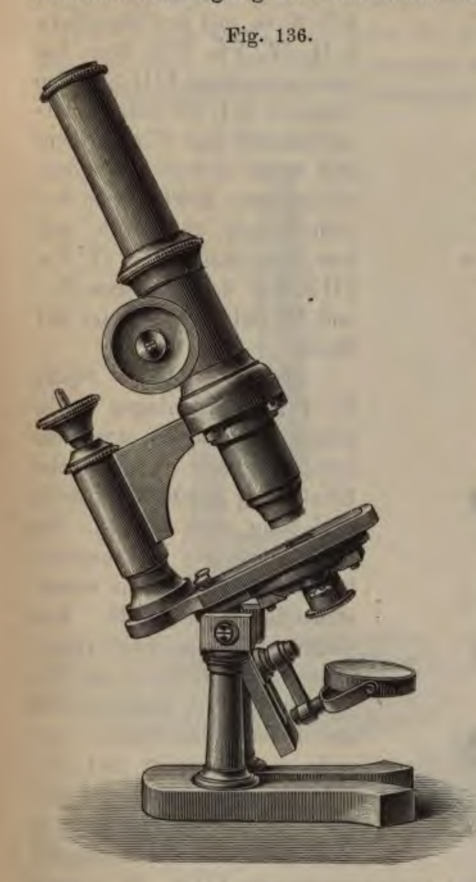
130 **Franz Schmidt & Haensch** in Berlin (S. Stallschreiberstrasse Nr. 4).

Das mittlere, 315 mm hohe Stativ (Nr. 9 der Preisliste, Fig. 136) hat Hufeisenfuss und ruht, zum Ueberlegen eingerichtet, auf zwei Rundsäulen. Es besitzt allseitig beweglichen Hohlspiegel mit Cylinderblenden- und Beleuchtungsvorrichtung sowie Drehung des grossen Objecttisches um die optische Achse, die grobe Einstellung durch Zahn und Trieb an dem Tubus, die feine durch Mikrometerschraube über der Säule. Mit den Systemen 2, 4, 6 und 8, vier Ocularen und Ocularmikrometer kostet dasselbe 300 Mark.

Das etwas kleinere, mittlere, 285 mm hohe Stativ (Nr. 8 der Preisliste), steht auf flachen Messingsäulen mit Gelenk zum Umlegen.

Der 70 mm Seite haltende viereckige Objecttisch ist um die optische Achse drehbar. Der Beleuchtungsapparat ist dem der vorhergehenden Modelle ähnlich, doch ohne verticale Verstellbarkeit des Spiegels. Zur groben Einstellung dient die Seite 146 beschriebene, mittelst des über dem horizontalen Arme sichtbaren Ringes in Thätigkeit zu setzende Vorrichtung zur stetigen Schiebung des Rohres in der Hülse, zur feinen Mikrometerbewegung über der Säule. Werden die Systeme 2, 4, 6, drei Oculare und ein Ocularmikrometer beigegeben, so berechnet sich der Preis auf 195 Mark.

Fig. 136.



Für das kleine Modell, Nr. 7, diente das Hartnack-sche kleine Stativ als Muster, jedoch hat es statt Scheiben-, Cylinderblendung. Mit den Systemen 2, 4, und drei Ocularen kostet dasselbe 135 Mark.

Als Nr. 6 wird das gleiche Stativ mit Glockenblendung, den Systemen 2,4 und zwei Ocularen abgegeben und zu 105 Mark berechnet.

Objectivsysteme fertigen Schmidt und Haensch neun Nummern, die Trockensysteme: 1 ($f = 25$ mm; numerische Apertur 0,17) zu 12 Mark, 2 ($f = 13{,}3$ mm; numerische Apertur 0,34) zu 18 Mark, 3 ($f = 6{,}4$; numerische Apertur 0,67) und 4 ($f = 4$ mm; numerische Apertur 0,86) zu 30 Mark, 6 ($f = 3$ mm; numerische Apertur 0,89) zu 36 Mark, 8 ($f = 2{,}4$ mm; numerische Apertur 0,96) zu 48 Mark, und die Immersionssysteme mit Verbesserungseinrichtung, 10 ($f = 2{,}1$ mm; numerische Apertur 0,05) zu 90 Mark, 21 (nominell $^1/_{16}''$) zu 150 Mark und 12 (nominell $^1/_{25}''$) zu 300 Mark. Auch die Systeme 4 bis 8 können Correctionsfassung erhalten und werden dann um 15 Mark im Preise erhöht.

Die fünf gewöhnlichen Oculare tragen die Bezeichnung 00, 0, 1, 2 und 3 und kosten 9 Mark, während orthoskopische zu 12 Mark berechnet werden.

131 **W. und H. Seibert** (E. Gundlach's Nachfolger) in Wetzlar. Das mittlere Stativ Nr. 3 (Fig. 137) auf Hufeisenfuss mit geschweifter Säule, zum Umlegen eingerichtet, hat Blendungsvorrichtung mit Schlitten und drei Diaphragmen. Wird dasselbe mit den Trockensystemen, mit den Objectiven I, III, Va, dem System XII für homogene Immersion, den Ocularen 0, I, III (letzteres mit Mikrometer) und dem Abbe'schen Beleuchtungsapparate ausgestattet, so beträgt der Preis 475 Mark, mit den Objectiven I, II, IV, Vb, VIb, dem Immersionssysteme VIII und den Ocularen 0, I, III (mit Ocularmikrometer zum Einschieben) und einer einfachen Condensorlinse zum Ankleben an den Objectträger 460 Mark, mit den Objectiven I, II, IV, Va, VIIb und den Ocularen 0, I und III (mit Mikrometer) 327 Mark.

Fig. 137.



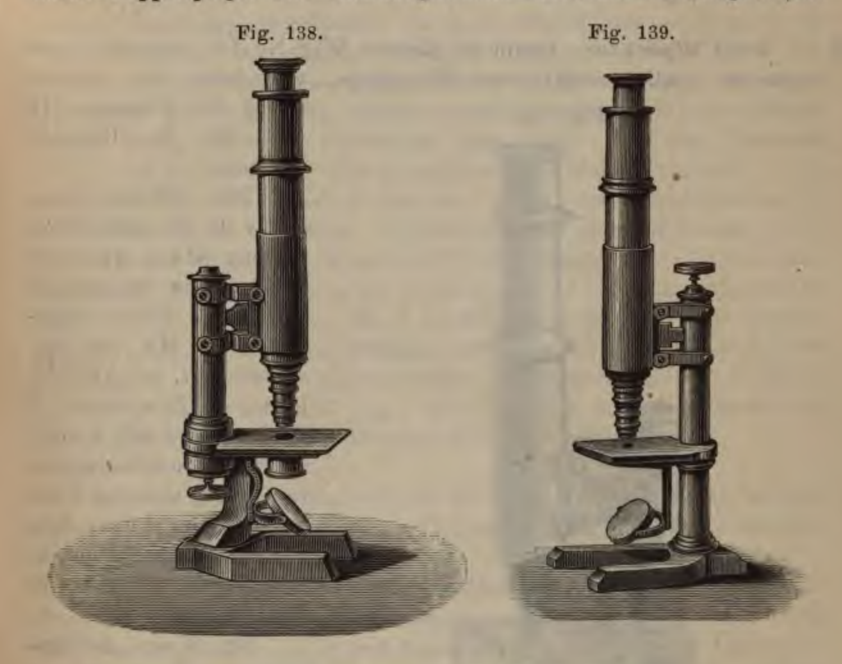
Das mittlere Stativ Nr. 4 zum Ueberlegen ist in seinen Ausmaassen etwa dem vorigen gleich. Die grobe Einstellung geschieht mittelst Schiebung des Rohres, die feine mittelst Mikrometerbewegung wie bei dem voranstehenden Instrumente. Der vierseitige, ausreichend räumliche Tisch ist nicht um die optische Achse drehbar und der Beleuchtungsapparat besteht aus senkrecht und seitlich beweglichem Doppelspiegel nebst Cylinderblendung in Schlitten. Kommen hierzu die Trockensysteme I, II, IV, Va, das Immersionssystem VIIb, die Oculare 0, I, III (mit Mikrometer zum Einschieben) und ein einfacher Condensor, so wird dasselbe mit 297 Mark berechnet, während es mit den Trockensystemen I, III, Va, dem Immersionssysteme VIIa, den Ocularen 0, I, III (wie oben) und einfachem Condensor auf 253 Mark zu stehen kommt.

Nr. 5 (Fig. 138), dem obigen ähnlich, aber etwas kleiner und ohne Gelenk zum Ueberlegen, wird mit den Trockensystemen I, III, Va, dem Immersionssysteme VIIb, den Ocularen 0, I, III (mit Mikrometer zum Einschieben) und einfacher halbkugeliger Beleuchtungslinse ausgestattet

zu 252 Mark berechnet. Mit den Objectiven I, III, Va, VIIa, den Ocularen 0, I, III und Ocularmikrometer kommt es auf 234 Mark, mit den Systemen II, Va, VIIa und den Ocularen I und III (mit Mikrometer) auf 208 Mark, mit den Systemen I, III, Va und den Ocularen I und III (mit Mikrometer) auf 166 Mark, mit den Objectiven II und Va und den Ocularen I und III (mit Mikrometer) auf 148 Mark.

Das kleine Hufeisenstativ Nr. 7 (Fig. 139) hat eine Rundsäule als Träger und ausreichend grossen Tisch, die grobe Einstellung geschieht mittelst Verschiebung des Rohres, die feine mittelst Mikrometerschraube über der Säule. Der Beleuchtungsapparat wird aus dem seitlich verstellbaren Doppelspiegel und Blendungsscheibe mit fünf Oeffnungen (auf

Fig. 138. Fig. 139.



Wunsch Cylinderblendung mit 10 Mark Preiserhöhung) gebildet. Erhält es die Objectivsysteme II, Va und die Oculare I und III (mit Mikrometer), so beträgt der Preis 120 Mark, ohne Mikrometer 115 Mark.

Die Oculare bilden sieben Nummern: die gewöhnlichen Nr. 0, I, II und III zu dem Preise von 7,50 Mark, die periskopischen Nr. 1 zu 18 Mark, Nr. 2 und Nr. 3 zu 15 Mark jedes.

Die vortrefflichen, in ihren einzelnen Exemplaren der verschiedenen Nummern, wie ich mich vielfach und auch an den in neuerer Zeit mir vorgelegenen Systemen I, II, III, Va, VIb, VII, IX, $^1/_{12}$″ und $^1/_{20}$″ überzeugt habe, gleichmässigen Objective, von denen die Nummern V bis VII mit *b*, sodann die Nummern VIII bis X Correctionsfassung haben, zer-

fallen in drei Classen: Trockensysteme Nr. 00 bis VI b, Wasserimmersion Nr. VII a bis X und homogene Immersion $^1/_{12}$″, $^1/_{16}$″, $^1/_{20}$″, und es kosten 00 20 Mark, 0 21 Mark, I (f = 24 mm; numerische Apertur 0,24), II (f = 13 mm; numerische Apertur 0,32) und III (f = 11 mm; numerische Apertur 0,35) 18 Mark, IV 27 Mark, V a (f = 4 mm; numerische Apertur 0,86) 36 Mark, V b 48 Mark, VI a 60 Mark, VI b (f = 2,3 mm; numerische Apertur 0,85) 75 Mark, VII a 60 Mark, VII b (f = 1,7 mm; numerische Apertur 1,07) 75 Mark, VIII 120 Mark, IX (f = 0,83 mm; numerische Apertur 0,95) 180 Mark, X 300 Mark, $^1/_{12}$″ (f = 2,3 mm; numerische Apertur 1,14) 200 Mark, $^1/_{16}$″ 240 Mark, $^1/_{20}$″ (f = 1,35 mm; numerische Apertur 1,13) 300 Mark.

132 **Paul Waechter**, Berlin O., Grüner Weg Nr. 16, construirt vorzugsweise mittlere und kleine Mikroskope, von denen für unseren Zweck die Nummern II und III in Betracht kommen.

Fig. 140.



Das 330 mm hohe Stativ II ist unter Einhaltung etwas kleinerer Dimensionen dem grossen Stativ von Zeiss nachgebildet. Mit den Systemen 4, 7, 10, XII ($^1/_{12}$ homogene Immersion), 3 Ocularen und dem Abbe-schen Beleuchtungsapparate würde sich der Preis auf 410 Mark stellen, ohne System XII und Beleuchtungsapparat aber 160 Mark betragen.

Nr. II als „Arbeitsmikroskop für Aerzte und Studirende" bezeichnet, ist ein Hufeisenstativ, welches dem Zeiss'schen V nachgebildet wurde. Der vierseitige Objecttisch misst 83 × 82 mm, die grobe Einstellung wird durch Verschiebung des ausziehbaren Rohres in der am horizontalen Träger befestigten Hülse, die feine durch Mikrometerschraube über der Säule vermittelt. Der Beleuchtungsapparat

besteht aus seitlich verstellbarem Doppelspiegel und Cylinderblendung mit Schlittenbewegung, kann aber durch den Abbe'schen Beleuchtungsapparat ergänzt werden. Kommen zu dem Stative die Objectivsysteme 4, 7, 10 und VIII, für Immersion und mit Correctionsvorrichtung drei Oculare und ein Ocularmikrometer, so beträgt der Preis 260 Mark, werden dagegen die Objectivsysteme 4, 7, 10 und drei Oculare beigegeben, 140 Mark. Die Beigabe des Abbe'schen Beleuchtungsapparates erhöht den Preis um 50 Mark.

Das Stativ Nr. III (Fig. 140), „Arbeitsmikroskop für Apotheker", besitzt einen gusseisernen bronzirten, hufeisenförmigen Fuss, auf welchem sich der geschweifte Träger erhebt, und hat einen noch ausreichend grossen vierseitigen Objecttisch. Die grobe Einstellung geschieht durch Verschiebung des mit Auszug versehenen Rohres, die feine durch die bekannte Parallelogrammbewegung mittelst Mikrometerschraube unter der Säule. Der Spiegel ist seitlich verstellbar und die Cylinderblenden werden durch einfaches Verschieben gewechselt. Mit den Systemen 4, 7, 9 und drei Ocularen wird dasselbe zu 100 Mark berechnet.

Die Oculare 1, 2 und 3 sind zu 6 Mark, die orthoskopischen zu 12 Mark das Stück angesetzt. Von den Objectivsystemen werden Nr. 1 ($f = 24$ mm; numerische Apertur 0,19) zu 12 Mark, Nr. 4 ($f = 14$ mm; numerische Apertur 0,15) zu 12 Mark, Nr. 7 ($f = 4{,}5$ mm; numerische Apertur 0,55) zu 21 Mark, Nr. 9 zu 27 Mark, Nr. 10 ($f = 2{,}6$ mm; numerische Apertur 0,90) zu 60 Mark, ferner die von Seibert gelieferten Objective Nr. VIII für Wasserimmersion mit Correction zu 120 Mark, Nr. XI $^1/_8$", XII $^1/_{12}$", XIII $^1/_{16}$", XVI $^1/_{20}$", für homogene Immersion mit beziehentlich 120, 200, 260 und 320 Mark berechnet.

R. Wasserlein in Berlin (S. W. Bernburgerstrasse Nr. 34), welcher **133** früher mit Bénèche vereinigt war, hat seit Anfang der 60er Jahre eine eigene Werkstätte gegründet.

Das mittlere Stativ *A* ist dem Stative VIII zum Ueberlegen von Hartnack nachgebildet, besitzt aber etwas grössere Dimensionen. Mit den Trockensystemen 4 *b*, 7, dem Immersionssysteme 11 ohne Correction, drei Ocularen und Ocularmikrometer kostet dasselbe 180 Mark, mit den Trockensystemen 4 *b*, 7, 10, drei Ocularen und Ocularmikrometer 165 Mark, mit den Trockensystemen 4 *b*, 7, 9, drei Ocularen und Ocularmikrometer 150 Mark.

Das mittlere Stativ *A* 0 unterscheidet sich von *A* nur durch den Mangel des Gelenkes zum Ueberlegen. Mit den Trockensystemen 4 *b*, 7, dem Immersionssysteme 11 und drei Ocularen ausgerüstet beträgt dessen Preis 150 Mark, mit den Trockensystemen 4 *b*, 7, 10 und drei Ocularen 135 Mark, mit den Trockensystemen 4, 7, 9 und drei Ocularen 120 Mark.

Das kleine Stativ *a* 1 gleicht dem Stative III von Hartnack. Erhält dasselbe die Objectivsysteme 4, 7, 10 und drei Oculare beigegeben, so kostet es 115 Mark, mit den Systemen 4, 7, 9 und zwei Ocularen

105 Mark, mit den Systemen 4, 7, 8 und drei Ocularen 100 Mark, mit den Systemen 4, 7, 8 und zwei Ocularen 90 Mark, mit den Systemen 4, 7 und zwei Ocularen 75 Mark. Wird Einrichtung zum Ueberlegen oder Cylinderblendungsapparat gewünscht, so erhöht sich der Preis um je 10 Mark.

Die Oculare tragen die Nummern 0, 1, 2, 3 und 4 und werden zu 6 Mark das Stück berechnet.

Objectivsysteme liefert Wasserlein zwölf Nummern: Nr. 1 (35 mm) zu 9 Mark, Nr. 2 (20 mm), Nr. 3 (10 mm) und Nr. 4 (9,5 mm) zu 12 Mark, Nr. 4*b* (8 mm), Nr. 5 (6,4 mm), Nr. 6 (5,1 mm) zu 18 Mark, Nr. 7 (4,2 mm) zu 24 Mark, Nr. 9 (2,5 mm) zu 36 Mark, Nr. 10 (1,6 mm) zu 45 Mark, Nr. 11 (Immersion ohne Correction, 1,1 mm) zu 60 Mark und Nr. 11*b* (Immersion mit Correction, 1,1 mm) zu 75 Mark. Von diesen habe ich die Nummern 2 ($f = 21{,}3$ mm; numerische Apertur 0,13), 4*b* ($f = 13{,}3$ mm; numerische Apertur 0,26), 6 ($f = 6$ mm; numerische Apertur 0,50), 7 ($f = 3{,}7$ mm; numerische Apertur 0,82), 9 ($f = 3$ mm; numerische Apertur 0,86), 10 ($f = 2{,}3$ mm; numerische Apertur 0,84) und 11*b* ($f = 2$ mm; numerische Apertur 0,92) näher zu prüfen Gelegenheit gehabt und fand ich dieselben von guter Wirkung.

134 **Rudolph Winkel** in Göttingen. Die Stative, welche aus der Werkstätte von Winkel hervorgehen und allen Anforderungen der praktischen Mikroskopiker gerecht zu werden suchen, sind Hufeisenstative und soweit ich dieselben kennen zu lernen Gelegenheit hatte, von vorzüglich schöner und solider Arbeit.

Das mittlere, feste, d. h. nicht zum Ueberlegen eingerichtete Stativ Nr. 3 (Fig. 141) besitzt einen runden, um die optische Achse drehbaren Objecttisch. Die grobe Einstellung geschieht durch Verschiebung des Rohres, die feine durch Mikrometerschraube über der Säule. Der Doppelspiegel ist in senkrechter und wagerechter Richtung verstellbar, die Hülse der Cylinderblenden ist mittelst sogenannten Bajonettverschlusses unter dem Tische befestigt, so dass sie an dessen Drehung nicht Theil nehmen und bei Beobachtungen mit polarisirtem Lichte das Object etc. über dem feststehenden Polarisator gedreht werden kann. Der Preis beträgt 135 Mark und, wenn die Gradeintheilung des Tisches und die Centrirungsvorrichtung wegfällt, 100 Mark. Nr. 3*a* der Preisliste.

Das Stativ Nr. 4, Fig. 142, ist in seinem Baue dem Stative III*b* von Leitz ähnlich und kostet 96 Mark.

Das kleine Stativ Nr. 5 ist im Wesentlichen ein verkleinertes 3 mit ausreichend grossem, 76 mm breitem vierseitigem Tisch und Cylinderblendungsapparat in Schlitten. Dasselbe kostet 75 Mark.

Das kleine Stativ, welches dem Stative III von Hartnack gleicht hat gleichfalls einen noch ausreichend räumlichen, vierseitigen Tisch, mit feiner Einstellung durch Mikrometerschraube über der Säule. Der Doppelspiegel ist seitlich verstellbar und die Hülse der Cylinderblenden

mittelst eines mit federnder Verschiebungshülse versehenen Armes derart unter dem Tische befestigt, dass sie bequem zur Seite gedreht werden kann. Der Preis stellt sich auf 45 Mark.

Oculare führt Winkel sechs: I, II, III, IV, V und VI, deren Vergrösserungszahlen sich verhalten wie 1 : 1,25 : 1,5 : 1,75 : 2,1 : 3 und von denen das Stück mit 8 Mark berechnet wird.

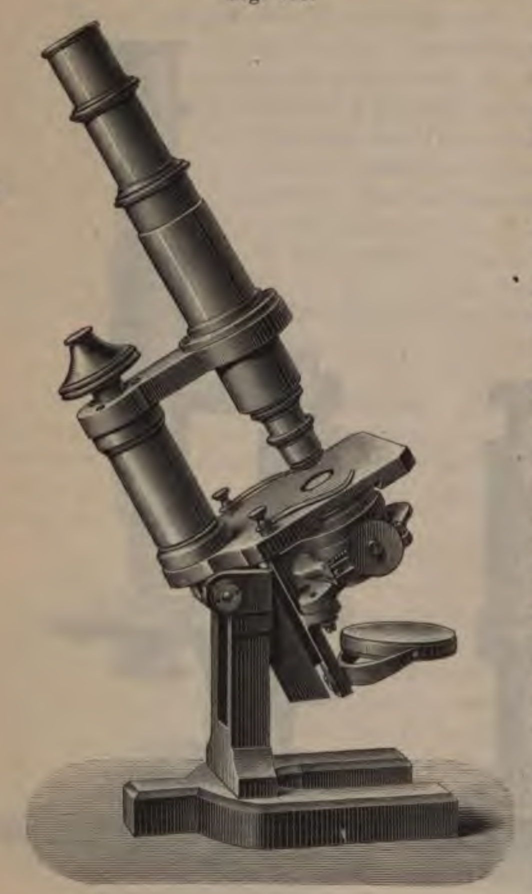
Fig. 141. Fig. 142.



Die in ihren Leistungen auf der Höhe der Zeit stehenden Objectivsysteme umfassen zwölf Nummern, zehn Trockensysteme und zwei Immersionssysteme. Die Preise betragen für die Trockensysteme: Nr. 1 ($f = 33$ mm; numerische Apertur 0,17) und 2 ($f = 16,5$ mm; numerische Apertur 0,29) 18 Mark, Nr. 3 ($f = 11,5$ mm; numerische Apertur 0,38) 21 Mark, Nr. 4 ($f = 9$ mm; numerische Apertur 0,50) 27 Mark, Nr. 5 ($f = 5,5$ mm; numerische Apertur 0,68) und 6 ($f = 4,7$ mm; nume-

rische Apertur 0,76) 30 Mark, Nr. 7 ($f = 3{,}4$ mm; num. Apertur 0,84) 36 Mark, Nr. 8 ($f = 2{,}8$ mm; numerische Apertur 0,94) 45 Mark, Nr. 9 ($f = 2{,}3$ mm; numerische Apertur 0,95) mit Correction 78 Mark, Nr. 10 ($f = 1{,}9$ mm; numerische Apertur 0,97) mit Correction 90 Mark. Von Immersionssystemen sind mir *B* ($f = 2{,}1$ mm; numerische Apertur 1,00) und *C* ($f = 1{,}6$ mm; numerische Apertur 1,02) aus dem Jahre 1881 bekannt geworden und waren dieselben, abgesehen von der etwas kleinen numerischen Apertur, den Trockensystemen ebenbürtig.

Fig. 143.



136

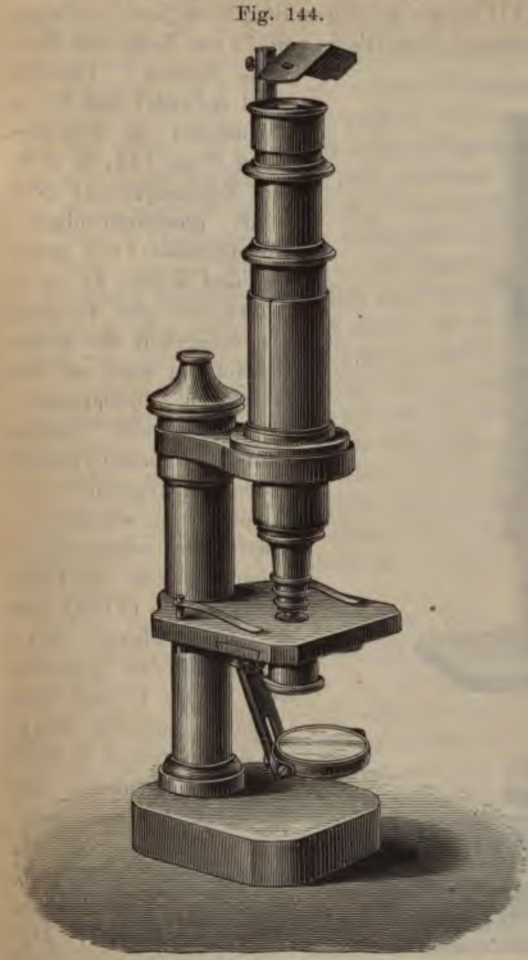
Dr. Carl Zeiss in Jena. Dr. Zeiss berechnet Stative, Objectivsysteme und Oculare gesondert und überlässt es der Wahl des Bestellers sich sein Instrument in jeder Beziehung nach Wahl auszustatten.

Von ersteren baut er in der neuesten Zeit elf Formen, Nr. I bis IV grosse, V bis VII mittlere, VIII, IX und X kleine, von denen uns hier zunächst die Nummern V bis X interessiren.

Das mittlere Stativ V (das frühere I) wird in zwei Formen, zum Ueberlegen mit Einrichtung zum Auswechseln der gewöhnlichen und der Abbe'schen Beleuchtungsvorrichtung (Fig. 143) und ohne Gelenk (Fig. 80, S. 143), angefertigt und besitzt eine Höhe von 31 cm. Der vierseitige 82 × 83 mm grosse Tisch ist feststehend und das Rohr ohne Auszug; der Doppelspiegel ist allseitig beweglich und die Cylinderblenden, statt deren auch die Glockenblendung angebracht werden kann, haben Schlittenführung. Grobe Einstellung durch Schieben des Rohres. Dieses Stativ bildet ein höchst bequemes Arbeitsmikroskop und empfiehlt

sich seines mässigen Preises halber — 95 Mark mit Gelenk zum Ueberlegen, 75 Mark ohne Neigung — für weitere Kreise. Zum Ueberlegen eingerichtet und ausgerüstet mit den Trockensystemen *aa*, *AA*, *CC*, *E*, dem Immersionssystem *J*, dem $^1/_{12}''$ für homogene Immersion, vier Ocularen, dem Abbe'schen Beleuchtungsapparate, Zeichenprisma und Ocularmikrometer beträgt der Preis 854 Mark, mit den Trockensystemen *aa*, *A*, *C*, *D*, *F*, dem Immersionssystem *K*, vier Ocularen, Abbe'schem Beleuchtungsapparat, Zeichenprisma und Ocularmikrometer 612 Mark, mit den Objectiven *A*, *C*, *E*, $^1/_{12}$ homogene Immersion 3 Ocularen und Abbeschem Beleuchtungsapparat 581 Mark, mit den Systemen *aa*, *A*, *C*, *E* und *J* (mit Correction), drei Ocularen, Zeichenprisma und Ocularmikrometer 454 Mk. Ohne Einrichtung zum Ueberlegen und unter Beigabe der Trockensysteme *aa*, *AA*, *C*, *D*, *F* (mit Correction), von vier Ocularen, Polarisationsapparat und Goniometerocular kostet es 427 Mark, mit den Systemen *aa*, *B*, *D*, *F*, vier Ocularen, Zeichenprisma und Ocularmikrometer 312 Mark, mit den Systemen *A*, *D*, *F*, drei Ocularen und Zeichenprisma 267 Mark, mit den Systemen *A*, *C*, *E* und zwei Ocularen 215 Mark.

Fig. 144.

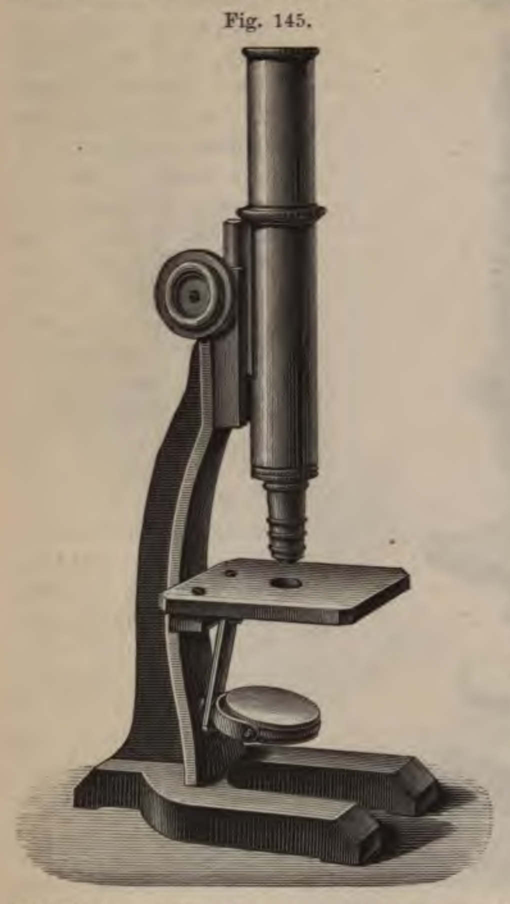


Das Stativ VI (früher III *c*) ist ein nur 27 cm hohes, höchst compendiöses, handliches Stativ mit Drehung des Objecttisches um die optische Achse und mit glockenförmiger Blendungsscheibe. Der Preis beträgt 75 Mark, mit den Trockensystemen *A*, *C*, *D*, *F*, dem Immersionssystem *K*, vier Ocularen, Zeichenprisma und Ocularmikrometer 515 Mark.

Das vorliegende Stativ wird zum Zwecke möglichst bequemer Verpackung in einem verschliessbaren Schränkchen von 21 cm Höhe und 10 × 11 cm Grundfläche mit einigen Abänderungen versehen und dient dann als Reisemikroskop.

Das **mittlere** Stativ VII ist von kräftigem Bau, 28 cm hoch, hat einen ausreichend grossen vierseitigen Objecttisch von 72 mm Seite und Rohr ohne Auszug. Dasselbe wird entweder mit Cylinderblenden in Schlitten VII *a* (Fig. 144, a. v. S., mit Zeichenprisma) oder mit glockenförmiger Blendscheibe VII *b* geliefert und bildet, da es in Anbetracht der Feinheit und Sicherheit der feinen Einstellung auch mit den stärksten Objectivsystemen gebraucht werden kann, ein ebenso vorzügliches Instrument für Laboratorien, wie zu umfassenderen wissenschaftlichen Arbeiten. Der Preis beträgt je 65 (VII *a*) und 60 (VII *b*) Mark. VII *a* kommt mit den Systemen *aa*, *B*, *D*, *F* und drei Ocularen auf 269 Mark, mit den Systemen *A*, *D*, *F* und zwei Ocularen auf 229 Mark, mit den Systemen *A*, *C*, *E* und zwei Ocularen auf 205 Mark zu stehen, VII *b* mit den Systemen *a BB*, *DD* und drei Ocularen auf 189 Mark, mit den Systemen *AA*, *DD* und drei Ocularen auf 165 Mark, endlich mit den Systemen *A*, *D* und zwei Ocularen auf 110 Mark.

Fig. 145.



Das dem Modell III von **Hartnack** ähnliche **kleine** Stativ VIII (das ältere III *b*), 27 cm hoch, hat einen festen vierseitigen Tisch von 60 mm Seite, allseitig beweglichen Doppelspiegel und Glockenblende und kann gleichfalls noch mit stärkeren Systemen benutzt werden, so d· sich bei seiner compendiösen Verpackung auch recht gut als Reise skop eignet. Sein Preis beträgt 48 Mark, mit den Systemen *A*

und zwei Ocularen 212 Mark, mit den Systemen *A*, *C*, *E* und zwei Ocularen 188 Mark, mit den Systemen *AA*, *DD* und drei Ocularen 153 Mark, mit den Systemen *A*, *D* und drei Ocularen (nebst der vorigen eine für Laboratorien etc. sehr empfehlenswerthe Combination) 135 Mark.

Nr. IX (Fig. 145) ist ein 28 cm hohes Stativ aus Eisenguss mit Hufeisenfuss, 75 × 85 mm grossem Tisch, nur seitlich aus der Achse beweglichem Doppelspiegel und Glockenblende, welches grobe Einstellung mittelst Zahn und Trieb, feine mittelst Mikrometerschraube am Tisch hat und noch recht wohl die Verwendung mittlerer Objectivsysteme gestattet und für Schul- und manche Laboratoriumszwecke recht brauchbar ist. Dasselbe kostet 40 Mark mit den Systemen a_2, *A*, *D* und zwei Ocularen 132 Mark, mit den Systemen *A*, *C* und zwei Ocularen 114 Mark. Ohne die feine Einstellvorrichtung vermindert sich dieser Preis um 10 Mark.

Der optische Apparat ist bei sämmtlichen Mikroskopen ganz vorzüglich und gehören namentlich die Objectivsysteme, von denen mir seit langen Jahren ganze Reihen durch die Hände gegangen sind und von denen ich tagtäglich selbst Gebrauch mache, unbedingt dem ersten Range an. Dieselben vereinigen alle für wissenschaftliche Untersuchungen wünschenswerthen und nothwendigen Eigenschaften in so hohem Grade, und sind in ihren Leistungen so durchgehend gleichmässig, wie ich dies nur selten wiedergefunden habe. Wenn das Auflösungsvermögen der Trockensysteme — auch bei der zweiten Reihe — auf ein niedrigeres Maass beschränkt ist, als man es sonst findet, so geschieht dies mit Bewusstsein und im Anschluss an die früher dargelegten theoretischen Grundsätze.

Die fünf gewöhnlichen Oculare, Nr. 1 bis 5, werden zu 7 Mark, die orthoskopischen zu 15 Mark berechnet, und es betragen die Ocularvergrösserungen für beide Arten der Reihe nach 3, 4, 5,5, 7,5 10.

Objectivsysteme, welche auch einzeln und zwar in Messingbüchsen mit aufgeschraubten Deckeln abgegeben werden, liefert Dr. Zeiss vierundzwanzig Nummern. Von ihnen zerfallen die mittleren Trockensysteme von 16 bis 4 mm Brennweite in zwei Reihen; die einen, mit einfachen Buchstaben bezeichneten, für die gewöhnlichen histologischen Untersuchungen äusserst bequemen, mit kleinerer Oeffnung und grossem Arbeitsabstande, die anderen, durch Doppelbuchstaben unterschiedenen, mit grösserer numerischer Apertur und verhältnissmässig kleinerem, immerhin aber noch ausreichend grossem freiem Objectabstande und für die Beobachtung der feineren Details unübertrefflich. Sämmtliche Systeme mit fester Fassung sind für mittlere Deckglasdicken von 0,15 bis 0,20 mm corrigirt und findet sich bei den stärkeren von *CC* an, diejenige Dicke, für welche die vollkommenste Correction besteht, seitlich an der Linsenfassung angegeben. Die Preise sind folgende für die Trockensysteme *a* (36 bis 24 mm) 12 Mark, *a** (30 bis 40 mm) 40 Mark,
27 mm; numerische Apertur 0,17) 27 Mark, *A* und *AA*
n; numerische Apertur 0,20 und 0,31) 24 und 30 Mark,

B und *BB* ($f = 11$ mm; numerische Apertur 0,34 und 0,50) 30 und 42 Mark, *C* und *CC* ($f = 7$ mm; numerische Apertur 0,42 und 0,71) 36 und 48 Mark, *D* und *DD* ($f = 4,3$ mm; numerische Apertur 0,60 und 0,82) 42 und 54 Mark, *E* ($f = 2,8$ mm; numerische Apertur 0,85) 66 Mark, *F* ($f = 1,85$ mm; numerische Apertur 0,85) 84 Mark, *F* mit Correction 104 Mark, für die Immersionssysteme sämmtlich mit einer numerischen Apertur von 1,15 bis 1,17, *G* (3 mm) 90 Mark, *G* mit Correction 115 Mark, *H* (2,3 mm) 110 Mark, *H* mit Correction 135 Mark, *I* (1,7 mm) 144 Mark, *I* mit Correction 164 Mark, *K* mit Correction (1,3 mm) 200 Mark, *L* (1,0 mm) mit Correction 270 Mark, für die Systeme homogener Immersion mit einer numerischen Apertur von 1,25 bis 1,30 $^1/_8$″ (3,0 mm) 240 Mark, $^1/_{12}$″ (2,0 mm) 320 Mark, $^1/_{18}$ (1,25 mm) 400 Mark.

136 In Bezug auf die Anschaffung eines Mikroskopes will ich zum Schlusse nur noch zwei Punkte berühren. Erstlich möchte ich Jedem, der sich zu einem ernsteren Studium der Histologie wendet und dieselbe etwa zu seinem Lebensberufe zu wählen entschlossen ist, empfehlen, sich von vornherein ein in mechanischer Beziehung vollendetes Instrument anzuschaffen, damit er sich nicht später zu einem Wechsel veranlasst und zu pecuniärem Verluste gezwungen sieht. Der optische Apparat, der im Anfange weniger umfangreich zu sein braucht, kann später je nach Bedürfniss vervollständigt werden. Dann warne ich vor Anschaffung der mittelst Zeitungsannoncen angepriesenen Instrumente, die durch ihren anscheinend äusserst geringen Preis etwas Verlockendes haben. Ich habe solche, selbst von Leuten, deren Beruf es ist, die Wissenschaft und ihre Jünger zu fördern, empfohlene kleine Mikroskope geprüft und mich überzeugt, dass dieselben zu wissenschaftlichen Untersuchungen ganz unbrauchbar sind. Ebenso hüte man sich, etwa für den Schulgebrauch, vor den hier und da angepriesenen sogenannten „Salon- und Schulmikroskopen", welche strengeren Anforderungen nie genügen können. Das für solche Instrumente ausgegebene Geld ist immer verloren. Wer einmal das wirkliche Bedürfniss hat, sich ein Mikroskop anzuschaffen, der wende sich, falls ihm nicht ein praktischer Mikroskopiker rathend zur Seite steht, nur an eine der bekannten und bewährten Firmen.

Sechstes Capitel.

Mikroskope zu besonderen Zwecken.

Zu den Mikroskopen, welche nicht sowohl der wissenschaftlichen Forschung im Allgemeinen, als nur einzelnen Zwecken, namentlich auch denen des Unterrichtes, dienen, gehören: das sogenannte multoculare,

stereoskopische, bildumkehrende, umgekehrte (chemische), photographische Mikroskop, das Bild- (Sonnen- und Hydrooxygengas-) Mikroskop und das Polarisationsmikroskop.

Obwohl allen diesen Instrumenten überall eine nur sehr begrenzte Verwendbarkeit, selbst zu Zwecken der Demonstration, eigen ist, dürfen wir einzelne derselben hier doch nicht ganz übergehen und wollen ihnen eine kurze Betrachtung widmen.

137 **Stereoskopisches Mikroskop.** — Die stereoskopischen Mikroskope beruhen im Grunde alle auf dem Principe der Theilung der



Fig. 146.

Fig. 147.

von dem Objectivsysteme ausfahrenden Strahlenbüschel in zwei Theile, von welchen jeder einzelne durch eine gesonderte Röhre einem anderen Oculare zugeführt und wodurch das mikroskopische Bild in entsprechender Weise vervielfältigt wird.

Die Spaltung der objectiven Strahlenbündel kann auf doppeltem, hier nicht näher erörterbarem Wege erreicht werden, entweder mittelst der durch die Brechung in Prismen veranlassten Ablenkung nach verschiedenen Seiten, oder durch die an den Grenzwänden von entsprechend gestalteten Prismen erfolgende vollständige Zurückwerfung.

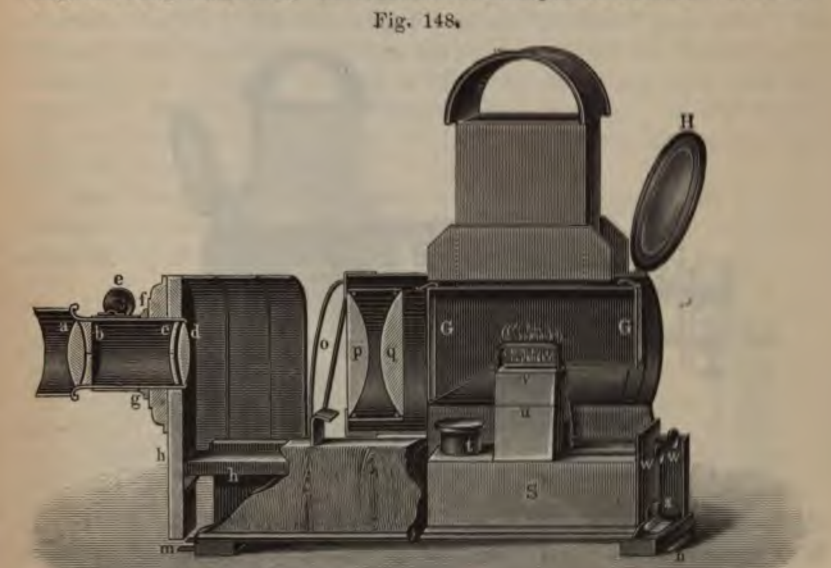
Das stereoskopische Mikroskop hat verschiedene Würdigung erfahren. Manche Mikroskopiker erkennen demselben keine besonderen Vorzüge zu; von anderer Seite scheint man dagegen für die Entwickelungsgeschichte des thierischen Embryo etc. einigen Werth auf die Erzeugung körperlicher Bilder zu legen. Auch für die Entwickelungsgeschichte in der Morphologie der Gewächse dürfte das Instrument vielleicht nicht ohne Bedeutung sein. Jedenfalls leiden die bisher bekannten stereoskopischen Mikroskope an dem Umstande, dass man mit Ausnahme von einigen ausländischen Formen immer auf schwache Vergrösserungen beschränkt und bei den am meisten verbreiteten auf den langen, uns ungewohnten und unbequemen englischen Tubus angewiesen ist.

Die englischen Mikroskope sind meist mit dem Binoculartubus versehen und geben wir, um einen Einblick in deren Bau zu gewähren, eine Abbildung eines Beck'schen Binoculares, Fig. 146 (a. v. S.), nebst Längsschnitt, Fig. 147. Von Nachet in Paris, der auch eine Einrichtung zur Umwandlung des gewöhnlichen Mikroskopes in ein stereoskopisches liefert, wird das stereoskopische Mikroskop, welches, wie das binoculare, nur schwächere Objectivsysteme verträgt, mit den Systemen Nr. 2, 3 und 5 etc. ausgerüstet, um den Preis von 400 Franken (318 bis 321 Mark) geliefert. Andere unserer continentalen Optiker fertigen dasselbe, soweit meine Erfahrungen reichen, nicht.

138 **Bildmikroskop.** — Beim Bildmikroskope wird das von dem Objectivsysteme entworfene Bild auf einem weissen oder durchsichtigen Schirme aufgefangen, der in einem dunklen Raume, z. B. in einem durch Läden verschlossenen Zimmer, in einer bedeutenden, 3 bis 6 m betragenden Entfernung hinter dem ersteren aufgestellt wird. Die Beleuchtung des Gegenstandes geschieht entweder mittelst Sonnenlichtes oder mittelst künstlichen (Drummond'schen Kalk- oder elektrischen) Lichtes. Im ersteren Falle befindet sich vor einem geschlossenen Laden des Beobachtungsraumes ein ebener, an horizontaler Achse drehbarer und in verschiedenen Winkeln neigbarer Spiegel, welcher die Sonnenstrahlen durch eine Oeffnung nach der Beleuchtungslinse reflectirt. Von dieser letzteren aus gelangt der Lichtkegel durch eine geschwärzte Röhre oder ein Röhrensystem auf den mittelst einer passenden Vorrichtung (Objecttisch etc.) festgehaltenen Gegenstand, von welchem das Objectiv das Bild zu entwerfen hat. Dieses letztere besteht entweder aus einer einfachen achromatischen Doppellinse oder aus einem Doublet, oder es bildet ein vollkommenes Objectivsystem, wie es bei dem zusammengesetzten Mikroskope in Anwendung ist. Bei Verwendung von elektrischem oder Drummond'schem Kalklichte wird dieses unmittelbar nach dem Beleuchtungsapparat geleitet.

Dieses Mikroskop ist hier und da zur Demonstration empfohlen worden. Indessen hat sich herausgestellt, dass die Erwartungen, welche man in dieser Beziehung von dem Instrumente hegte, dessen Anwendung ausserdem eine beschränkte (Sonnenmikroskop) oder mit mancherlei zeitraubenden und nicht gerade angenehmen Vorbereitungen (Gasmikroskop) verbundene ist, keineswegs erfüllt wurden. Dasselbe mag sich für manche Objecte, kleine Thierchen u. a., ganz gut zur Demonstration eignen, so lange dieselben keiner irgend erheblichen Objectivvergrösserung bedürfen, um genau in ihren Einzelheiten erkannt zu werden. Sobald es aber gilt, feinere Verhältnisse solcher Organismen zur Anschauung zu bringen, hat die Sache bei der gewöhnlichen Construction dieses Instrumentes ihr Ende erreicht und ist auch die kolossalste Vergrösserung nicht mehr im Stande, die mangelnde Schärfe und Klar-

Fig. 148.



heit des Bildes nur einigermaassen zu ersetzen. Für Demonstrationen in der Gewebelehre der Pflanzen und Thiere ist das Sonnenmikroskop und noch mehr das Gasmikroskop fast vollkommen unbrauchbar, und selbst gröbere Injectionspräparate verlieren die nothwendige Schärfe. Sollen aber diese Uebelstände beseitigt werden, so verlangen der Beleuchtungsapparat, die Einstellvorrichtungen, sowie die Objectivsysteme eine so vollkommene und abweichende Construction, dass der Preis sich ungemessen steigert (das Schröder'sche Bildmikroskop kostet 3000 Mark) und nur sehr reich dotirten Instituten die Anschaffung gestattet.

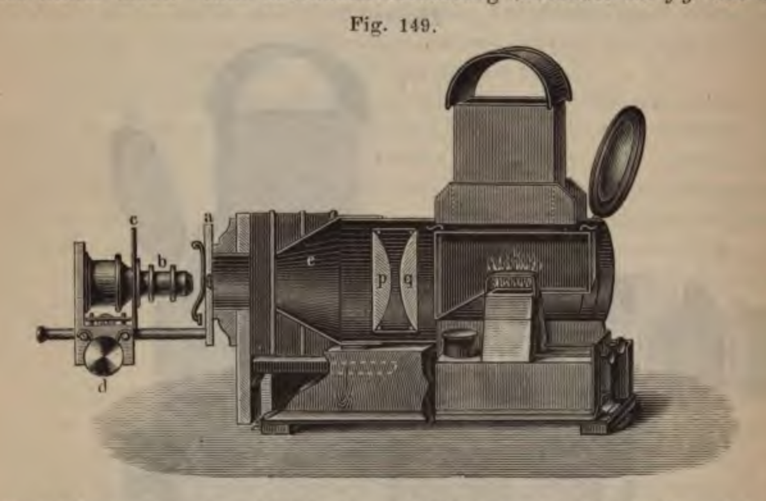
Während dem gewöhnlichen Bildmikroskope nur eine eingeschränkte Verwendung auch zu Demonstrationszwecken zugesprochen werden kann,

eignet sich das auf gleicher Grundlage beruhende Scioptikon [Max Fritz, Görlitz (Vertreter Romain Talbot, Berlin N. Auguststr. 68), 100 bis 135 Mark, A. Krüss in Hamburg, 65 bis 75 Mark] zu letzteren vorzüglich, da als Objecte für dasselbe nicht die mikroskopischen Präparate selbst (oder wenigstens nur in beschränktem Umfange), sondern Glasphotogramme [1]) derselben benutzt werden und die Vergrösserung durch schwache Systeme (photographische Objective) bewirkt wird.

Der kurzen Beschreibung dieses Instrumentes nach seinen zwei Gebrauchsrichtungen sei hinzugefügt, dass seine Leistungen volle Anerkennung verdienen.

Zur Linken, Fig. 148 (a. v. S.), befindet sich das photographische Objectiv mit den Linsen *ab*, *cd* und dem Trieb *e*, der zum feineren Einstellen des Bildes dient. Eine Schraubenvorrichtung verbindet bei *fg* das Ob-

Fig. 149.



jectiv mit dem vorderen Blechkasten mit Holzfassung *hhh'*, welcher behufs Einstellung des Bildes vor- und zurückgeschoben werden kann. *mn*, vorn und hinten an der Unterseite des Apparates, sind kleine Blechstücke, welche in zwei Schrauben an der Oberseite des Verpackungskastens passen und zum festen Aufstellen dienen, *o* ist ein Draht, der zum Halten des hölzernen Schiebers dient (in der Figur nicht angegeben), in welchen die Bilder eingeschoben werden. Diese werden mit Hülfe der Concentrationslinsen *pq*, welche in einer Kapsel sitzen, die sich auseinandernehmen lässt und öfters mit weichem Leder zu reinigen sind, durch die dahinter befindlichen Flammen kräftig erleuchtet. Hinter den Linsen befindet sich der Brennerkasten *G G*. Derselbe endigt oben in einen Schornstein, den man, um stärkeren Luftzug zu erzeugen, weiter ausziehen

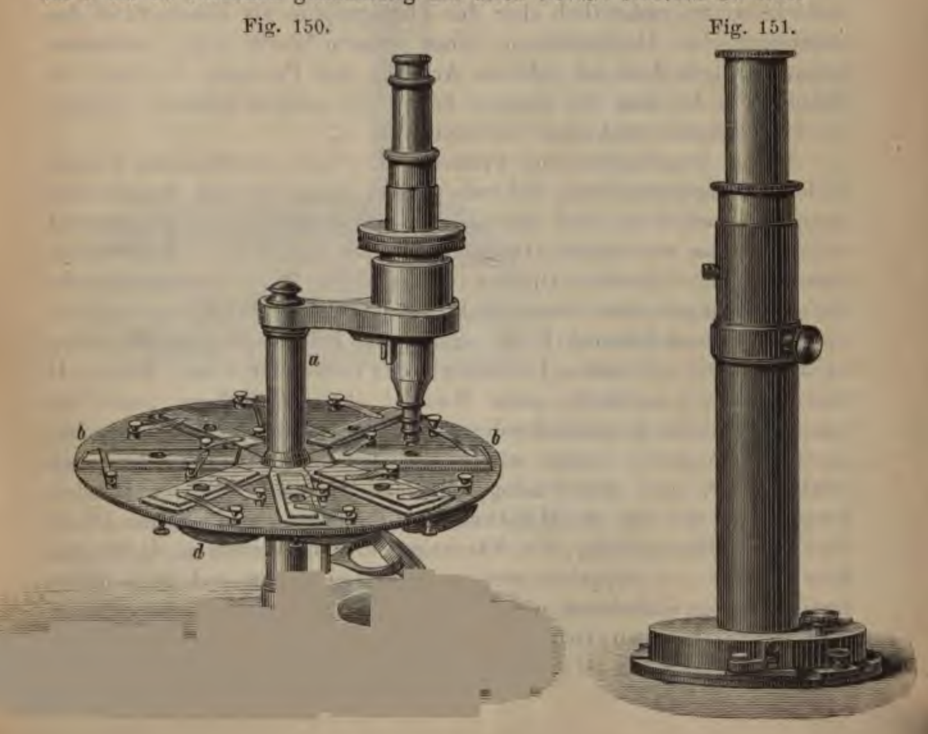
[1]) Vorzüglich geeignet für diese Zwecke sind die Glasphotogramme von Dr. L. Koch für Botanik und von Professor Dr. Kossmann für Zoologie, vergleichende Anatomie und Entwickelungsgeschichte. Verlag von Max Fritz.

kann und ist bei *G G* mit Hartglasplatten verschlossen, die ein- und ausgehoben werden können und um das Rauchen der Lampe zu verhüten, fest anliegen müssen. Die Lampe besteht aus dem Petroleumkasten *S*, der durch *t* gefüllt wird, und dem Dochthalter *u v*. Dieser führt zwei flache, breite Dochte, welche mit Hülfe von *w w* gedreht werden. Die Lampe lässt sich leicht bei *x* ausheben und wieder einsetzen. *H* ist ein Silberreflector, der das Licht der Lampe erheblich verstärkt.

Um mit dem Scioptikon mikroskopische Objecte geeigneter Art statt der Photogramme an der Wand zu demonstriren, wird das gewöhnliche Objectiv von dem vorderen verschiebbaren Holzkasten losgeschraubt und durch den mikroskopischen Ansatz ersetzt, wie Fig. 149 zeigt. Das Object wird auf dem Tische *a* mittelst Federklemmen befestigt und das Objectiv *b*, hinter welchem zur Abhaltung des Seitenlichtes eine grosse schwarze Scheibe *c* sich befindet, mittelst des Triebes *d* eingestellt. Als Objectiv wird am zweckmässigsten ein solches von 25 bis 30 mm Brennweite benutzt. Um das von den Beleuchtungslinsen *p q* etwa nach den Seiten hin ausstrahlende Licht abzuschliessen, wird der schwarze Metallkegel *e* darüber gesteckt, welcher das Licht nur an seinem abgestumpften Ende auf das Object fallen lässt.

Die Bilder der Objecte erscheinen, wenn man eine Grösse des Bildkreises von 50 cm nicht überschreitet, vollkommen scharf und hell genug, um 8 bis 10 Personen gleichzeitig mit allen Details sichtbar zu sein.

Fig. 150. Fig. 151.



139 **Demonstrationsmikroskop.** — Das Demonstrationsmikroskop, welches in neuester Zeit von Klönne & Müller in Berlin angekündigt wird, Fig. 150 (a. v. S.), besitzt einen um die Säule des Mikroskopes centrisch drehbaren Objecttisch, auf welchem je acht durch Federklammern festgehaltene Objectträger Platz finden und nach und nach in das Sehfeld gebracht werden können.

Das Handmikroskop, zu Demonstrationen im Hörsaale und beim Unterrichte bestimmt, wird in freier Hand gegen das Tageslicht oder eine künstliche Lichtquelle gehalten. Es bedarf keines Spiegels, besitzt aber hier und da, wie bei der Nachet'schen Form, eine Sammellinse vor dem Objecttische in der optischen Achse. Die Einstellung wird entweder allein durch Verschiebung des Rohres, oder die grobe durch diese und die feine durch Verschiebung des Oculares bewirkt, woraus ersichtlich, dass an dem Instrumente nur mässige Objectivvergrösserungen verwendbar sind. Das Handmikroskop wird in verschiedenen Formen angefertigt und mögen die einheimischen durch die beigegebenen Abbildungen eines Winkel'schen Instrumentes (Fig. 151, a. v. S.) dieser Art erläutert werden.

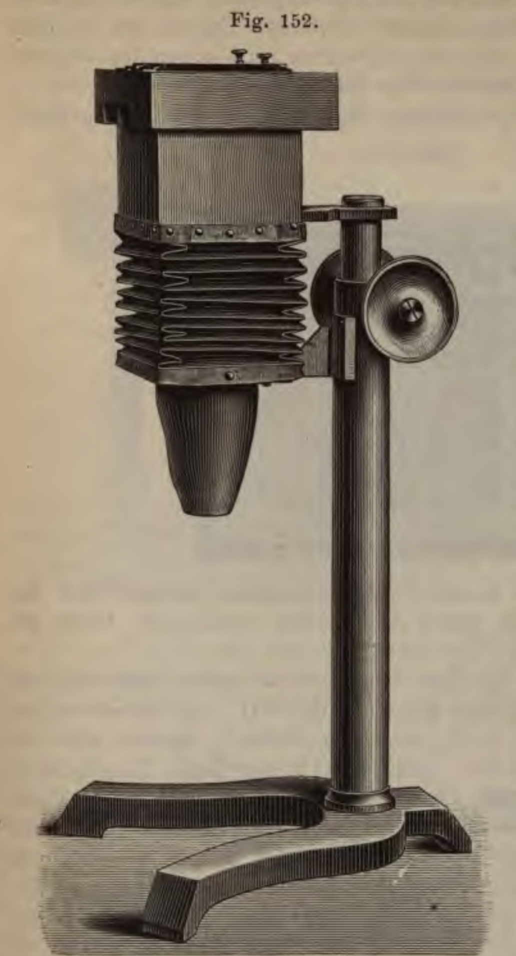
140 **Das photographische Mikroskop.** — Der mikroskopischen Photographie ist in der letzten Zeit von vielen Seiten ein nicht geringer Werth beigelegt worden. Obgleich ich im Ganzen diesen Ansichten nicht beitreten, namentlich aber der Photographie als Ersatzmittel der mikroskopischen Handzeichnung einen grossen Werth nicht einräumen kann, so zeigen doch die schönen Arbeiten von Professor Gerlach in Erlangen u. A., dass für einzelne Seiten der mikroskopischen Technik die Photographie nicht ohne Bedeutung ist.

In der ursprünglich von Professor Gerlach verwendeten Gestalt bildet das photographische Mikroskop nicht einen für sich bestehenden Apparat, sondern es wird dasselbe an dem Rohre des mit hinreichend starkem Stativ versehenen Arbeitsmikroskopes angebracht. Man hat indessen von Seiten einzelner Optiker auch besonders für die photographische Aufnahme eingerichtete Instrumente gebaut. So führte schon Hartnack in seinem früheren Preiscourante das heliographische Mikroskop nach Bertsch auf, und es liefern Seibert in Wetzlar, Franz Schmidt und Haensch in Berlin sowie Nachet theils einfachere, theils zusammengesetztere Instrumente dieser Art. In Bezug auf die zusammengesetzteren Apparate müssen wir indessen auf die ausführlicheren Specialwerke, z. B. auf: „Die Photographie als Hülfsmittel mikroskopischer Forschung" von Dr. A. Moitessier, übersetzt von Professor Dr. B. Benecke Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn, verweisen, da wir uns hier nur mit den Apparaten ersterer Art beschäftigen und auch davon nur einige der einfacheren und handlicheren beschreiben können.

Der mikro-photographische Apparat, Fig. 152, von Seibert in Wetzlar für 90 mm Bildgrösse bildet eine recht zweckmässige

Abänderung des ursprünglich von Dr. O. Reichardt erdachten Apparates (Reichhardt & Stürenberg, Lehrbuch der mikroskopischen Photographie, Leipzig 1868).

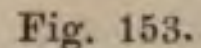
Fig. 152.

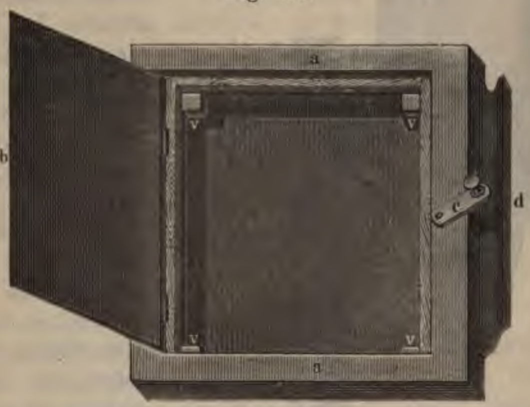


Auf dem grossen und schweren Hufeisenfusse erhebt sich eine starke hohle Messingsäule, an welcher der untere Rahmen der Camera befestigt ist, während deren oberer Theil mit einer innerhalb der Säule durch Trieb beweglichen Zahnstangen in Verbindung steht. Die Camera besteht aus einem vierseitigen Kasten von etwa 110 mm im Quadrat, an welchem sich der mit dem unteren an der Säule befestigten Rahmen abschliessende zur Verlängerung der ersteren dienende Balg befindet. Der Boden dieses Rahmens besitzt ein etwa 50 mm im Durchmesser haltendes rundes Loch, um welches ein Sack befestigt ist, der zur vollständigen Abhaltung allen fremden Lichtes mittelst einer Gummischnur das Rohr des Mikroskopes fest umfasst. Der obere Kasten ist zur Aufnahme der Cassette bestimmt und hat zu diesem Zwecke einen Falz, in welchen diese eingeschoben wird.

Die Cassette (Fig. 153, a. f. S.) wird von einem, dem der Visirscheibe an Grösse genau gleichen Holzrahmen gebildet, und ist bei der Anfertigung derselben vor Allem darauf zu sehen, dass die präparirte Seite der lichtempfindlichen Glasplatte genau in dieselbe Ebene zu liegen kommt, in welcher sich bei der Einstellung das durchscheinende Papier der Visirscheibe befindet. Die hintere Wand der Cassette bildet ein durch Charniergelenke mit dem Holzrahmen in Verbindung stehender Deckel *b*, der

zum Einbringen der Glasplatte aufgeklappt und durch eine Klammer *c* geschlossen erhalten wird. Die vordere Wand besteht aus dem eigentlichen Schieber *d*, welcher während der Lichtexposition aufgezogen wird, sonst aber immer eingeschoben bleibt. Zwischen Deckel und Schieber befindet sich die Glasplatte, mit der präparirten Seite gegen den Schieber gewendet und auf vier an den Ecken des Rahmens angebrachten, leicht zu reinigenden Glasfüsschen *v*, *v* ruhend. Die Cassette muss so gearbeitet

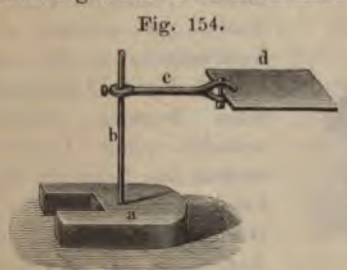

Fig. 153.



sein, dass die präparirte Glasplatte sowohl ausser als während der Expositionszeit vollkommen gegen von aussen kommendes Licht geschützt ist.

Um den Lichtzutritt zu dem Apparate zu regeln, dient die auf einem eigenen Stative befindliche Klappe (Fig. 154). Auf einem soliden, schweren Fusse *a* erhebt sich ein 120 bis 150 mm hoher Metallstab *b*, von dem ein mittelst einer Hülse verschiebbarer, durch eine Schraube festzustellender, 60 bis 70 mm langer Stab *c* in horizontaler Richtung abgeht. An dem freien Ende dieser letzteren befindet sich eine Klemmschraube, zwischen der in horizontaler Richtung ein 60 mm langes, 45 mm breites, leichtes, schwarzes Brettchen *d* oder dergleichen befestigt ist, welches, nach der Einstellung und bis die präparirte Glasplatte eingesetzt ist, zwischen Spiegel und Beleuchtungslinse eingeschoben den Lichtzutritt zu dem optischen Apparate des Mikroskopes verhindert.

Fig. 154.

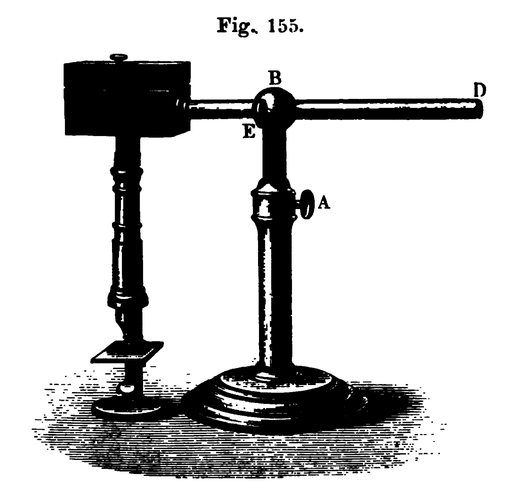


Zur Verdunklung der Visirscheibe während der Einstellung gebraucht man zunächst ein etwa 1 m langes, 80 cm breites schwarzes Tuch von dichtem Sammet, mit welchem der Kopf des Einstellenden und der Kasten verhängt wird. Dann aber ist noch ein auf die Visirscheibe zu setzender

abgestumpfter, innen geschwärzter Hohlkegel nöthig, welcher alles Seitenlicht abhält und in dessen oberem Ende zweckmässig eine Sammellinse als Lupe angebracht wird, um durch die Vergrösserung des Bildes auf der Visirscheibe eine vollkommen scharfe Einstellung möglich zu machen.

Die Visirscheibe befindet sich nicht — wie bei anderen Vorrichtungen dieser Art — in einem besonderen Rahmen, sondern wird, um den gleichen Abstand derselben und der empfindlichen Platte von den bilderzeugenden Linsen zu wahren, einfach auf die vier Glasecken aufgelegt. Da die mattgeschliffene Glasplatte zu grob ist, als dass feine Linien scharf darauf eingestellt werden können, so wurde dieselbe durch eine Jodsilberplatte ersetzt, welche der photographirende Mikroskopiker nach gegebener Vorschrift leicht selbst anfertigen und erneuern kann.

Fig. 155.



Eine einfache und wie mir scheint recht zweckmässige Verbindung der photographischen Camera mit dem ganzen Linsensysteme — Objectivsystem und Ocular — des Mikroskopes ist in neuester Zeit von Hauer (Grundzüge der Mikrophotographie von Max Hauer. Leipzig, Otto Wigand) vorgeschlagen worden. Die Camera wird dabei senkrecht und horizontal verschiebbar auf einem Holz- oder Metallstativ angebracht, dessen Einrichtung nebst seiner Verbindungsweise mit ersterer aus der beigegebenen Fig. 155 leicht ersichtlich ist, und mittelst eines an ihrem unteren mit einer entsprechenden kreisförmigen Oeffnung versehenen Boden befestigten, dem Umfange des Ocularrandes angepassten Ansatzrohres mit dem Mikroskope verbunden. Um lichtdichten Verschluss an der Verbindung herzustellen, wird ein starkes und breites Kautschukband über die Verbindungsstelle geschoben.

141 **Das „mineralogische" Mikroskop.** — Seit den von Professor Rosenbusch ausgegangenen ersten Anregungen („Ein neues Mikroskop für mineralogische und petrographische Untersuchungen", Jahrb. für Mineralogie 1876) haben sich unsere Optiker allseitig bemüht, den gewöhnlich in Gebrauch befindlichen grösseren und mittleren Stativen unter der obigen Bezeichnung für die berührten besonderen Zwecke eine passende Einrichtung zu geben, welche im Wesentlichen auf die Gewäh-

rung der — neben den Vorrichtungen zur Messung von Kantenwinkeln, Längen und Dicken erforderlichen — Mittel zur genauen Bestimmung der Lage und Neigungswinkel der optischen Achsen doppeltbrechender

Fig. 156.



Krystalle mittelst polarisirten Lichtes sowohl als mittelst stauroskopischer Beobachtung hinausgeht.

Von den „mineralogischen Mikroskopen", wie sie unter Anpassung an ihre gebräuchlichen Stative und unter Zugrundelegung des Rosenbusch'schen, von Fues in Berlin in zwei Formen ausgeführten Constructionstypus von mehreren optischen Werkstätten, z. B. Dr. Hart-

nack, Dr. Zeiss, Winkel, Leitz, Reichert, E. Boecker u. A. construirt werden, mag die Fig. 156 dem Leser ein Bild geben. Die einzelnen unterscheiden sich nur durch nicht wesentliche in dem Baue der betreffenden Stative bedingte Einzelheiten von einander und von dem Rosenbusch'schen Mikroskope. So bringen Hartnack, Zeiss u. A. zur Herstellung des Stauromikroskopes die Kobell'sche Kalkspathplatte zwischen Ocular und Analysator an, wozu der Raum durch Auflegen einer erhöhenden Zwischenplatte auf den Tubusvorsprung dient. Dann lassen sie bei dem Polarisator die — auch in der That nicht erforderliche — Theilung weg, und geben ihm die entsprechende feste Stellung durch Einfallen eines Zapfens in der Fassung des Nicols in einen entsprechenden Schlitz in der Hülse, in welcher jener verschiebbar ist. Bei dem Hartnack'schen Instrumente wird die Centrirung auf dem Drehungsmittelpunkte des Tisches durch ein inneres bewegliches Rohr (wie bei Fues), beim Zeiss'schen (Fig. 156) durch ein am unteren Ende des Tisches mit Stellschraube versehenes, die Objectivsysteme aufnehmendes Zwischenstück vollzogen und es dient bei letzterem zur Drehung des Polarisators ein Hebel, während leichtes Einspringen einer Feder in eine Vertiefung der Fassung die Stellung des Hauptschnittes von vorn nach hinten oder von rechts nach links anzeigt. Boecker und Leitz bringen dagegen die Vorrichtung zur Centrirung am Objecttische selbst an.

Uebrigens kann nach Rosenbusch's und Fues' Principien leicht jedes grössere oder mittlere Stativ mit Cylinderblenden oder dem Abbe'schen Beleuchtungsapparate in ein mineralogisches Mikroskop umgewandelt werden. So habe ich z. B. mein grosses Stativ Zeiss mittelst des goniometrischen Oculares und eines in dem Oculare angebrachten Diamantkreuzes mit einem dem Rosenbusch-Fues'schen ähnlichen, die Einlage der Kalkspathplatte gestattenden Analysator versehen lassen, während die circularpolarisirende Quarzplatte in ein über dem Objectivsysteme angebrachtes Zwischenstück eingelegt und die Winkelmessung durch eine besondere, verhältnissmässig dünne, mit Kreistheilung und Drehung um die optische Achse versehene, durch drei an geeigneten Stellen des Mikroskopobjecttisches angreifende Schrauben centrirbare Tischplatte vermittelt wird.

Zweiter Abschnitt.

Hülfsmittel zur mikroskopischen Beobachtung.

Erstes Capitel.

Hülfs- und Nebenapparate des Mikroskopes.

I. Optische Apparate.

1. Lupe und Präparirmikroskop.

142 **Die Lupe.** — Die Lupe ist ein für den Mikroskopiker höchst wichtiges Werkzeug, welches namentlich im Stande ist, denselben bei der Voruntersuchung seiner Objecte, sowie bei deren Vorbereitung zu der eigentlichen Untersuchung wesentlich zu unterstützen. Obwohl die Anforderungen, welche man an die Lupe stellt, sich je nach den speciellen Zwecken, zu denen sie dienen soll, verschieden gestalten, so lassen sich doch einige allgemeine Bedingungen hervorheben, denen eine gute Lupe entsprechen soll.

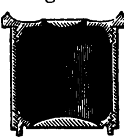
Dieselbe soll bei einer fünf- bis zwanzigfachen Vergrösserung erstens ein recht scharfes und deutliches Bild gewähren, zweitens ein grosses Gesichtsfeld und drittens einen solchen Abstand vom Objecte besitzen, dass diesem nicht allein kein Licht entzogen wird, sondern dass man auch ohne Einschränkung unter ihr Zergliederungen mittelst kleiner Messerchen oder mittelst der Präparirnadeln vorzunehmen im Stande ist.

Die Formen der Lupe zu der, wie aus dem Früheren klar hervorgeht, die beiderseits gleich stark gekrümmten Sammellinsen nicht, sondern nur planconvexe Linsen benutzt werden sollen, sind verschieden.

Die bekannten Taschenlupen bestehen meist aus 2 bis 3 Linsen und man benutzt dieselben einzeln, wo eine nur schwache Vergrösserung

gefordert wird, zwei bis drei über einander geschoben, wo man stärkere Vergrösserung wünscht. Die Wilson'sche (Fig. 157) Lupe, liefern Hartnack, Benèche, Zeiss u. A. zu dem Preise von 6 Mark. Die

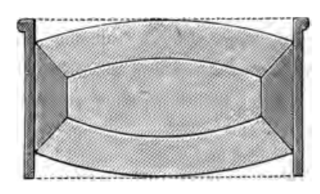
Fig. 157.



sogenannte aplanatische Lupe von Plössl, welche aus zwei achromatischen Linsen besteht, die entweder zusammen oder jede für sich gebraucht werden können, wird je nach Grösse von Plössl mit 10 bis 20 Mark, von Benèche, Schieck und Zeiss zu 9 bis 12 Mark berechnet

Die aplanatische Lupe von Steinheil (Fig. 158) giebt ein über das ganze Sehfeld vollkommen ebenes, unverzerrtes und farbenfreies

Fig. 158.



Bild, während der Objectabstand ein verhältnissmässig grosser bleibt und das Präpariren unter der Lupe gestattet. Steinheil liefert sieben verschiedene Nummern mit 2-, 3-, 5-, 8-, 12-, 16-, 24 maliger Linearvergrösserung zu folgenden Preisen: in einfacher Fassung die drei ersten zu 42, 18, 12 Mark, die übrigen zu je 11 Mark, in Fassung zum Einschlagen zu 45, 25, 18 und 15 Mark. Bei Dr. Zeiss beträgt der Preis der drei 6-, 10- und 20 mal vergrössernden Formen mit grossen Linsen, grossem Gesichtsfeld und Messingfassung je 12 Mark.

Aehnlich wie die aus zwei Linsen zusammengesetzten wirken einige andere, aus einem einzigen Glasstücke verfertigte Lupen, deren beide

Fig. 159.



Fig. 160.

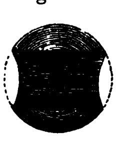
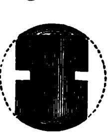


Fig. 161.

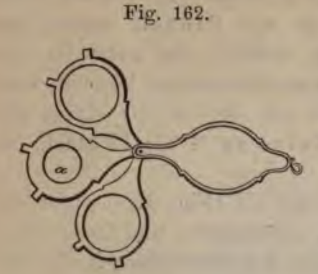


gegenüberstehende Seiten Kugelhauben von gleichem oder verschiedenem Krümmungshalbmesser bilden. Dahin gehören die Cylinderlupe (Fig. 159), die Coddington'sche (Fig. 160) und die Brewster'sche Lupe (Fig. 161).

Die Fassung der Lupe muss derart beschaffen sein, dass man das Auge der Linse möglichst nähern kann, es darf erstere daher nicht zu weit über die letztere hervorragen. Eine schüsselförmige Fassung, wie man sie bei den Doublets anwendet, möchte daher für die einfachen Linsen oder für jene Doppellinsen, die einander mehr genähert sind, die empfehlenswertheste sein, während die weiter von einander abstehenden Doppellinsen sowie die Cylinderlupen eine röhrenförmige Fassung verlangen. Die gewöhnlichen Hand- oder Taschenlupen (Fig. 162, a. f. S.)

werden am geeignetsten in Form der Lorgnette gefasst, wobei die Einrichtung für die oben erwähnte verschiedene Verwendung der Linsen getroffen sein soll.

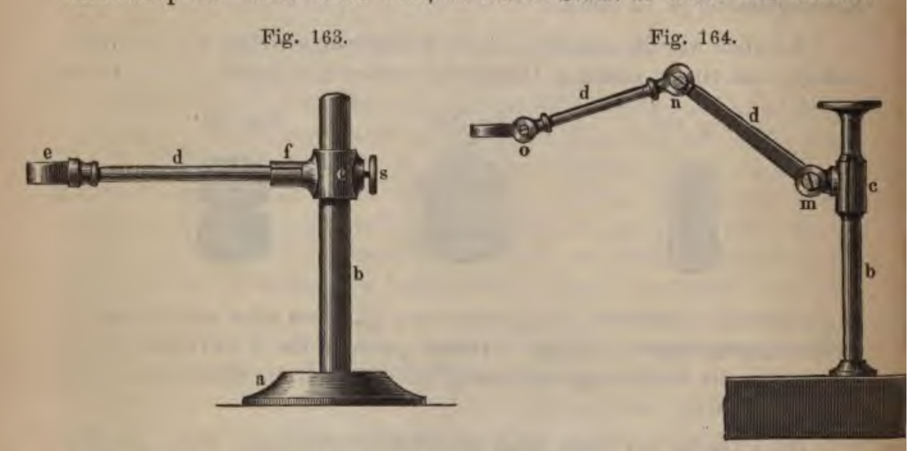
Fig. 162.



Für die Präparirlupen, die man niemals in freier Hand hält, sondern auf einem passenden Träger befestigt gebraucht, muss die Fassung mit Rücksicht auf diesen letzteren eingerichtet werden. Am besten ist dieselbe entweder ganz oder doch am unteren Ende walzenförmig, um von einem Ringe des Trägers aufgenommen werden zu können. Indessen kann sich auch an der Seite der Fassung eine runde oder viereckige Oeffnung befinden, vermittelst der die Lupe auf einem entsprechenden Stäbchen verschiebbar ist, oder es mag dieselbe einen seitlichen Fortsatz haben, den man genau in eine passende Oeffnung des Trägers einfügt.

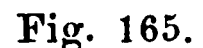
143 Der Lupenträger ist am besten möglichst einfach eingerichtet. Auf einen besonderen Objecttisch sowie auf die Beleuchtung des Objectes von unten kann man bei demselben um so mehr verzichten, als der ausübende Mikroskopiker für Präparation feinerer Objecte immer ein einfaches Mikroskop zur Hand haben wird, an dessen Stativ er leicht und mittelst

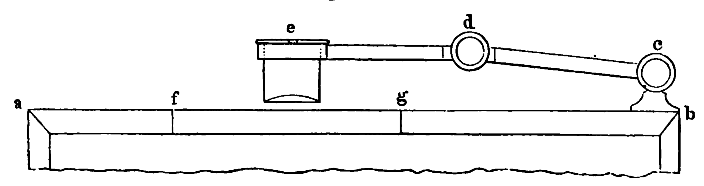
Fig. 163. Fig. 164.



einer einfachen Vorrichtung auch seine Lupe anzubringen vermag. Das Haupterforderniss des Lupenträgers besteht darin, dass er eine leichte und sanfte Auf- und Abbewegung der Lupe gestattet, während diese aus der einmal gegebenen Stellung nicht durch jede leichte Berührung verrückt werden kann. Sehr gut genügten diesen Bedingungen folgende einfache Vorrichtungen, deren Einrichtung leicht aus den Figuren 163 bis 165 ersehen werden kann. Der Lupenträger gestattet übrigens

mancherlei zweckmässige Abänderungen und wird sich Jeder, der einen einigermaassen gewandten Mechaniker in seiner Nähe hat, leicht seinen Lupenträger nach eigener Idee einrichten lassen können, da hierbei


Fig. 165.



gar vieles auf die Individualität des Beobachters und dessen specielle Wünsche ankommt.

144 **Das Präparirmikroskop.** — Hierzu rechnet man alle diejenigen vorzugsweise zur Präparation dienenden Instrumente, bei denen stärkere, mittelst einfacheren oder zusammengesetzteren Linsenverbindungen, Doublets oder Triplets, hervorgebrachte, etwa 15- bis 100- und 150 fache Vergrösserungen in Anwendung kommen und wo, bei einem vollkommneren Stativ mit Objecttisch, Einrichtungen zur Beleuchtung mittelst durch- und auffallenden Lichtes, sowie zur groben, oder zur groben und feinen Einstellung vorhanden sind.

Eine Linsenverbindung, welche früher schon Chevalier anwendete, ist in neuerer Zeit von Brücke bei der nach ihm benannten Lupe (Fig. 166) wiederum in Anwendung gebracht worden. Bei diesem Instrument, mit 5- bis 30 maliger Vergrösserung, ist nämlich mit einem aus zwei planconvexen, mit ihren erhabenen Flächen einander zugekehrten Linsen bestehenden Doublet, das dem Object zugewendet ist, eine dem Auge genäherte, in einem kurzen Auszugrohre eingeschraubte Concavlinse so verbunden, dass sich beide in einer Entfernung von 40 bis 60 mm von einander befinden. Der Focalabstand erreicht bei dieser Einrichtung etwa 80 bis 100 mm, die Vergrösserungen wechseln von 4- bis 30 fach und das Sehfeld hat je nach der Grösse der Objectivlinse eine Ausdehnung von 10 bis 15 mm im Durchschnitt. Die Vorrichtung in dieser Form wird zur Präparation immer nur eine an gewisse Objecte beschränkte Anwendung finden, indem der allerdings wünschens- und schätzenswerthe Vortheil des grossen Focalabstandes durch die neben einer stets nur mässigen Vergrösserung hergehende, geringe Ausdehnung des Gesichtsfeldes wieder aufgehoben wird.

Fig. 166.



Dr. Zeiss führt die Brücke'sche Lupe in drei Formen. Die eine vergrössert 4- bis 5 fach und kostet 11 Mark, die andere 10- bis 12 fach vergrössernde hat grosse Linsen und kostet 30 Mark, die dritte hat zwei achromatische Objectivlinsen, welche zusammen oder die obere für sich

gebraucht werden können. Im ersten Falle beträgt die Vergrösserung 30, im anderen 15 und es stellt sich der Preis auf 21 Mark. Auch Dr. Hartnack, Schmidt und Haensch, sowie Plössl und Reichert führen die Brücke'sche Lupe zu je 16, 36 (mit Stativ) 24 und 50 (auf Stativ) Mark.

Fig. 167.



Die Brücke'sche Lupe kann mit den auf Seite 260 dargestellten Lupenträgern verwendet werden, welche jedoch wegen der Schwere der ersteren höchst stabil sein müssen. Sehr gut eignet sich für dieselbe das „kleine Messingstativ" mit Tisch von Dr. Zeiss (Fig. 167), dessen Preis 10 Mark beträgt.

Die Einrichtung, namentlich aber das Stativ des eigentlichen einfachen Mikroskopes lässt mancherlei Abänderungen zu. Die Hauptgrundsätze indessen, welche bei seinem Bau in Folge des Zweckes, zur Präparation gröberer sowohl als feinerer Objecte zu dienen, maassgebend sein dürften, lassen sich im Folgenden zusammenfassen.

Erstens: Die Höhe soll weder zu bedeutend noch zu gering sein — etwa 150 mm ist recht geeignet — weil in dem ersteren Falle die Hand zu weit von dem Arbeitstische abstehen würde, was auf die Präparation störend einwirkt, im anderen Falle aber ein zu starkes Neigen des Kopfes nöthig wäre, was wiederum vielerlei Unbequemlichkeit nach sich zieht.

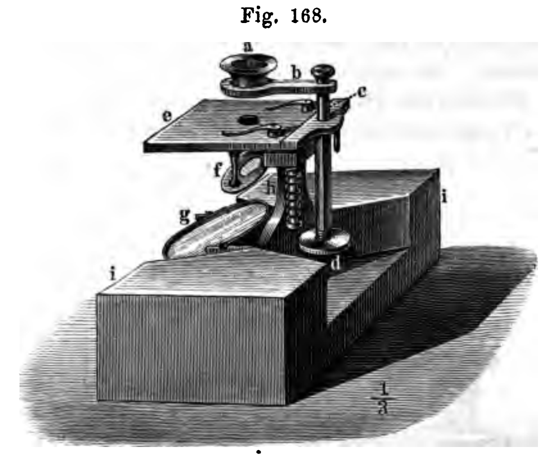
Zweitens muss der Objecttisch, welcher nicht mit festen Federklammern, sondern mit solchen zum Einstecken versehen sein soll, feststehen und eine solche Grösse — 50 bis 60 mm im Quadrat — haben, dass man auf demselben leicht alle nöthigen Präparationen vornehmen, Objectträger von erforderlicher Grösse benutzen und dieselben ohne Beschränkung drehen kann.

Drittens bedarf das einfache Mikroskop eines geeigneten Beleuchtungsapparates, der auch bei stärkeren Vergrösserungen noch hinreichend Licht gewährt.

Viertens muss das Stativ eine hinreichend bequeme und solide Vorrichtung zur Einstellung besitzen.

Unter den neueren einfachen Mikroskopen besitzen die beiden von Carl Zeiss in Jena construirten Formen und deren Nachbildungen eine allen Anforderungen entsprechende Einrichtung, weshalb ich mich hier auf deren Beschreibung beschränken und etwaige geeignete Abänderungen nur kurz erwähnen will. Das ältere „kleine Präparirmikroskop“ Nr. 81 des neuesten Preisverzeichnisses ist das einfachere. Die geschweifte Säule *a* (Fig. 168) trägt den unbeweglichen Objecttisch *e* nebst zwei Fortsätzen, in denen die beiden der feinen Einstellung dienenden Stifte einfügen, von welchen der längere von einer diese Einstellung regulirenden, unten durch eine Schraube festgehaltenen Spiralfeder umgeben ist. Die grobe Einstellung wird durch Verschiebung der Stahlstange bewirkt, welche den Arm für die Aufnahme der Doublets trägt, wogegen die feine Einstellung mittelst der Schraube *d* vorgenommen wird, welche die Hülse mit dem an ihr befestigten Messingstück, in welchem der Linsenträger enthalten ist, hebt und senkt. Die Beleuchtung wird von dem Planspiegel *g* und der zwischen ihm und dem Objecttische angebrachten Sammellinse *f* bewirkt, welche zur Seite gedreht werden kann.

Fig. 168.



Um die Hände beim Präpariren bequem aufstützen zu können, wird auf Wunsch ein schwerer hölzerner Klotz *i* beigegeben, welcher in der Mitte das Mikroskop aufgeschraubt erhält und daselbst wegen des Beleuchtungsapparates und der Einstellschrauben etwas eingeschnitten wird. Die rechte und linke Seitenflächen fallen schief ab, indem sie an den dem Objecttisch zugewandten Seiten eine demselben bis auf etwa 2 cm nahe kommende Höhe haben, an den äusseren Enden dagegen nur noch etwa 4 bis 5 cm hoch sind, die Länge der Seitenflächen beträgt etwa 25, die Breite 15 cm und sämmtliche Kanten sind etwas abgerundet.

Zu diesem Mikroskope gehören als Präparirmikroskop drei Doublets mit 15-, 30- und 60facher Vergrösserung und von ganz ausgezeichneter Wirkung. Sein Preis stellt sich auf 33 Mark, mit Zugabe des in der Figur gezeichneten Präparirklotzes auf 36 Mark. Auf Verlangen giebt Herr Zeiss aber auch noch ein sehr schönes Doublet mit 120facher Vergrösserung bei und es kostet das so ausgerüstete und mit Spiegeleinrichtung für schiefe Beleuchtung versehene Instrument 42 beziehentlich 45 Mark.

Das „grosse Zeiss'sche Präparirmikroskop" (Nr. 79 des Kataloges), welches bereits vielfache Nachahmung gefunden, beseitigt die den kleineren mit Doublet versehenen Instrumenten anhaftenden Mängel: verhältnissmässig kleiner Objectabstand bei schon mittleren Vergrösserungen und niedere, eine unbequeme Kopfhaltung veranlassende Stellung der Linsensysteme, vollständig. Das solide Stativ ist dem Nachet'schen ähnlich (Fig. 169). Der feststehende Objecttisch ist ausreichend gross und befindet sich in zum Präpariren bequemer Höhe. Die Einstellung

Fig. 169.

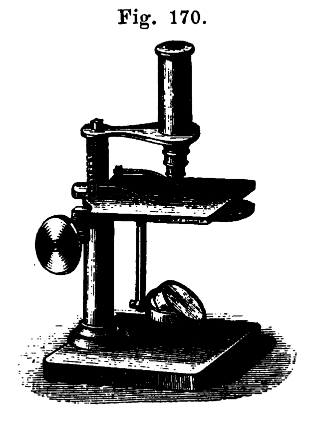


geschieht mittelst Zahn und Trieb und die Beleuchtung wird durch einen grossen, nach allen Seiten beweglichen, auch zur Beleuchtung von oben verwendbaren Hohlspiegel vermittelt. Zum Auflegen der Hände werden dem Objecttische zwei mit Leder überzogene geneigte Flügel eingeschoben. Der optische Apparat besteht aus einer dreifachen Linsencombination als Objectivsystem und einem Concavocular, welches durch ein 35 mm langes Rohr mit dem ersteren verbunden wird und es repräsentirt derselbe als Ganzes benutzt eine Brüke'sche Lupe, bei welcher $p < \pi$, also das

Sehfeld durch letzteres, der Oeffnungswinkel durch ersteres bestimmt wird. Das Ocular kommt etwa 70 bis 80 mm über dem Objecttische zu stehen und gestattet eine bequeme Kopfhaltung. Die erwünschten Vergrösserungen werden auf folgende Weise herbeigeführt.

1. Man benutzt das untere Linsensystem für sich nach Abschrauben des Rohres und zwar entweder die obere Linse allein, die beiden oberen Linsen zusammen, oder das ganze System. Man hat dann die Wirkung der Doublets mit je 15- bis 20- und 30 facher Vergrösserung.

Fig. 170.

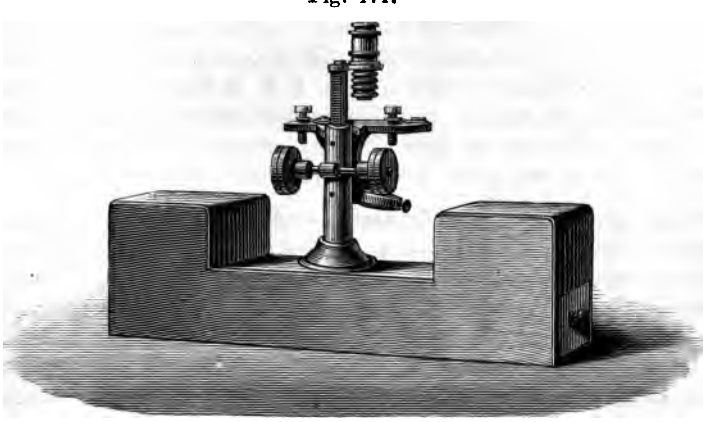


2. Durch Verbindung der drei Linsen in der Combination wie unter 1. mit dem Ocular, wodurch die Vergrösserungen 40, 60 und 100 mit Objectabständen von je 27, 16 und 9 mm erreicht werden.

Der Preis des Instrumentes, welches sehr zweckmässig in einem Schränkchen verpackt ist, beträgt 80 Mark, der des Linsensystemes allein 30 Mark.

Diesem Instrumente sind die Präparirmikroskope von Schieck, Kloenne und Müller, Leitz, Seibert, Wächter, Reichert, Plössl, E. Boecker u. A. im Wesentlichen nachgebildet. Dieselben sind mit Ausnahme des Plössl'schen, welches einen schweren vierseitigen Metallfuss besitzt

Fig. 171.



(Fig. 170), entweder auf einen dem oben beschriebenen ähnlichen Klotz oder den Kasten aufgeschraubt (Fig. 171, Boecker's Präparirmikroskop darstellend), der an Stelle des Präparirklotzes zum Auflegen der Hände dient und beiderseits zwei Schiebladen zum Aufbewahren der Linsensysteme und anderen Utensilien enthält, oder es finden die dem Object-

tische eingeschobenen Flügel — wie bei dem grossen Präparirmikroskop von Kloenne und Müller, dessen System durch Zugabe eines anschraubbaren Griffes und einer besonderen den Objectträger aufnehmenden Hülse auch als Lupe und Algensucher benutzt werden kann, — ihre Stütze auf dem Arbeitstische, indem sie rechtwinklig nach unten gebogen sind. Die Preise betragen je nach der Ausstattung 40 bis 60, bei Schieck 75 bis 120 Mark.

2. Vorrichtungen zur Bildumkehrung und Erzeugung körperlicher Bilder.

145 **Bildumkehrendes Prisma.** — Nachet's bildumkehrendes Prisma, welches nach einer Idee von Amici ausgeführt ist, bietet eines der vortrefflichsten Hülfsmittel zur Aufrichtung des Bildes dar. Mittelst eines unten an der Fassung angebrachten Ringes kann dasselbe leicht jedem Oculare übergestülpt und somit jedem Mikroskope angepasst werden. Ich habe mehrfach Gelegenheit gehabt, mich von der Brauchbarkeit dieser kleinen, von Nachet um 20 Mark (25 Franken), von Dr. Zeiss um 18 Mark zu erhaltenden Vorrichtung zu überzeugen, und kann sie allen denen empfehlen, welche ihr Compositum zum Präpariren bei aufrechtem Bilde benutzen wollen oder müssen. Das Einzige, was bei der älteren Construction auszusetzen blieb, war der Umstand, dass das Gesichtsfeld nicht unbeträchtlich beschränkt wurde. In neuester Zeit hat Nachet das Prisma indessen fest mit einem Oculare verbunden (Fig. 172), wodurch dieser Uebelstand aufgehoben ist. An Schärfe und Deutlichkeit büssen die mikroskopischen Bilder gar nichts ein, so dass sie sich, mittelst des Prismas gesehen, ebenso darstellen, wie unter den gewöhnlichen Umständen.

Fig. 172.

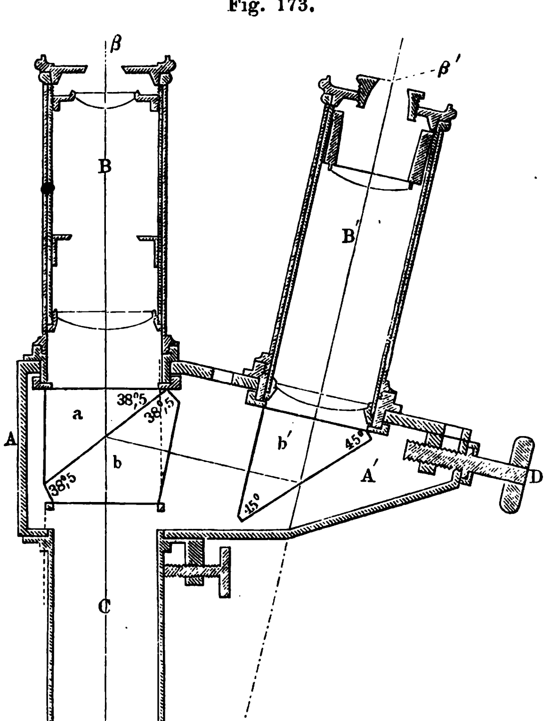


146 **Das stereoskopische Ocular.** — Abbe's stereoskopisches Ocular. Um die oben bei dem stereoskopischen Mikroskope hervorgehobenen Mängel zu beseitigen und einen für jeden Tubus und auch für die stärksten Vergrösserungen geeigneten stereoskopischen Apparat herzustellen, hat Professor Abbe einen von dem bisherigen abweichenden Weg des Baues verfolgt. Er hat die Verdoppelung des mikroskopischen Bildes durch eine gleichmässige, an kein bestimmtes Niveau gebundene Spaltung aller aus dem Objectivsysteme austretenden Strahlen herbeigeführt und die der stereoskopischen Wirkung dienende Halbirung nach der Spaltung in den aus den früheren theoretischen Betrachtungen bekannten, von den einzelnen Ocularen oberhalb der Augenlinse entworfenen reellen Bildern der Objectivöffnung, d. h. in der Austrittspupille des ganzen Mikroskopes vorgenommen. Dieser Weg, welcher in gleicher

Weise für die Construction eines Binocnlartubus wie eines stereoskopischen Oculares verwerthet werden kann, ist nun auf Anregung von Professor Selenka in Erlangen für das letztere eingeschlagen worden; und so ist das vorliegende, nicht allein dem besonderen Zwecke stereoskopischer Bilderzeugung dienende Ocular entstanden, welches in der Werkstätte von Dr. Carl Zeiss in Jena um den Preis von 150 Mark in vorzüglich schöner Ausführung angefertigt wird.

Der Körper des in Fig. 173 im Durchschnitt dargestellten Apparates wird von einem allseitig geschlossenen Messinggehäuse AA gebildet,

Fig. 173.



welches im Innern eine Verbindung von drei Crownglasprismen a, b, b' enthält, während die Deckplatte das feststehende Ocular B, sowie das auf einem verschiebbaren Schlitten befindliche Ocular B' trägt und die Bodenplatte die Hülse C besitzt, vermittelst deren sich das Ganze wie ein gewöhnliches Ocular in das Rohr des Mikroskopes einschieben lässt. Die beiden Prismen a und b sind derart zu einem festen Stücke verbunden, dass sie zusammen eine dicke Planplatte vorstellen, deren Zusammenhang jedoch durch eine mittelst geeigneter Zwischenlagen hervorgebrachte, etwa 0,01 mm dicke, unter einem Winkel von 38,5° gegen die Achse

geneigte Luftschicht unterbrochen ist. Die von dem Objectivsysteme kommenden Strahlenkegel erleiden an dieser Luftschicht eine Zerlegung in einen durchgelassenen und einen zurückgeworfenen Theil, von denen der erstere das Doppelprisma *a*, *b* ohne Ablenkung durchläuft und das Bild des Objectes in dem senkrechten Ocular *B* entwickelt, der andere — den in der Abbildung angegebenen Winkeln entsprechend — in senkrechtem Durchtritt durch die Seitenfläche des Prismas *b* um 13° gegen die Horizontale geneigt austritt und durch totale Zurückwerfung an der Hypothenusenfläche des gleichschenklig rechtwinkligen Prismas *b'* um 90° abgelenkt in das mit seiner Achse um 13° gegen die Achse des Mikroskopes geneigte Ocular *B'* gelangt.

Die Anpassung des Ocularabstandes an den Augenabstand des Beobachters geschieht mittelst der Schraube *D*, welche das Ocular *B'* sammt dem an seiner Fassung befestigten Prisma *b'* parallel verschiebt, und es kann weiter durch gleichmässiges Ausziehen der in ihren Hülsen verschiebbaren Oculare noch auf eine abnorm grosse Augenweite eingestellt, sowie durch ungleichmässiges Ausziehen die häufig vorhandene Verschiedenheit in der Sehweite beider Augen ausgeglichen werden.

Die beiden Oculare bilden gewöhnliche zweigliedrige Systeme, besitzen jedoch, um gleiche Schärfe und gleiche Vergrösserung der beiden Bilder, sowie gleichen Abstand der beiden Augenpunkte von dem Vereinigungspunkte der Ocularachsen herbeizuführen und damit die Bedingung zu erfüllen, an welche unter den hier in Frage kommenden Verhältnissen die vollständige und sichere Verschmelzung bei dem binocularen Sehen geknüpft ist, eine verschiedene Zusammensetzung. Während nämlich das Ocular *B* ein gewöhnliches Huyghens'sches Ocular von 45 mm Brennweite bildet, stellt das Ocular *B'* eine dem Ramsden'schen Oculare ähnliche Linsenverbindung von gleicher Brennweite vor.

Die Halbirung der abbildenden Strahlenkegel zum Zwecke des stereoskopischen Sehens wird durch halbseitige Abblendung der bekanntlich über den Ocularen auftretenden Austrittspupillen β und β' des Mikroskopes, welche die Durchgangsfläche aller je aus einem Oculare austretenden Strahlenbüschel bilden, bewirkt, und es dienen hierzu besondere Oculardeckel, wie ein solcher in der Abbildung über dem Oculare *B'* im Durchschnitte dargestellt ist. Jeder Deckel trägt eine Blendung mit halbkreisförmiger Oeffnung, deren geradlinige Kante genau in der optischen Achse des Oculares liegt und welche mittelst des in der Zeichnung angedeuteten Gewindes höher oder tiefer eingestellt werden kann, um die Abblendung genau in der Ebene der Austrittspupille auszuführen und damit eine vollständig gleichmässige Halbirung der Strahlenkegel von allen Punkten des Sehfeldes zu erhalten. Die Regulirung der Ebene der Blenden erfolgt für eine bestimmte Höhe des Mikroskoprohres ein- für allemal, indem man diejenige Stellung aufsucht, bei welcher das Oeffnungsbild keine Parallaxe gegen die Kante der Blendungsöffnung zeigt, d. h. beim Bewegen des Auges fest an dieser Kante haften bleibt.

Für jedes der beiden Oculare ist ein derartiger Deckel mit justirbarer Halbblende und zudem ein gewöhnlicher Oculardeckel — über Ocular *B* — beigegeben und es werden dieselben mittelst eines kurzen Conus einfach auf die ersteren aufgesteckt. Das einfache Umdrehen der mit Halbblenden versehenen Deckel gestattet nun, indem dabei im einen Falle die beiden wirksam bleibenden Halböffnungen in der unter *a*, Fig. 174, im anderen in der unter *b* dargestellten Weise einander gegenübergestellt sind, und die Austrittspupille des Mikroskopes in zwei Halbpupillen aus einander gezogen erscheint, welche dort in ihrer natürlichen, hier in umgekehrter Stellung wirksam werden, beim stereoskopischen Sehen nach Belieben orthoskopische oder pseudoskopische Wirkung hervorzurufen.

Fig. 174.

a

b

Die beschriebene Methode der Halbirung der abbildenden Strahlenkegel wirkt bei schwachen wie bei starken Objectivsystemen und bei jeder Form der Linsenfassung gleich vollkommen. Sind nämlich die Blenden in der Ebene der Austrittspupille angebracht — was immer mit genügender Genauigkeit zu bewirken ist, sobald die Einrichtung getroffen ist, dass der Oculardeckel höher oder tiefer eingestellt und der bei beträchtlichem Abstande des Oculares von dem Objectivsysteme merklich verschiedenen Höhenlagen genannter Ebenen gefolgt werden kann —, dann werden die von dem Rande des Gesichtsfeldes ausgehenden Strahlenkegel in derselben Weise halbirt, wie die in der Achse verlaufenden.

Dem gegenüber geht bei dieser Einrichtung durch die Abblendung die Hälfte der von dem Objectivsysteme dem Bilde zugeführten Lichtmenge verloren; allein für geringe Vergrösserungen, auf welche die Anwendung der seitherigen stereoskopischen Mikroskope beschränkt war, macht sich dieser Verlust kaum merkbar, indem selbst trübe Tagesbeleuchtung noch reichlich ausreichende Helligkeit gewährt. Die Sache stellt sich aber in Wirklichkeit wesentlich günstiger, weil zur Erreichung vollkommen stereoskopischer Wirkung keineswegs die Halbirung beider Oeffnungsbilder erforderlich ist, sondern dazu schon die halbseitige Abblendung eines einzigen und zwar die des seitlichen lichtschwächeren Oculares *B'* völlig genügend erscheint, wobei die dem Schema *a* entsprechende Stellung die der orthoskopischen, die dem Schema *b* entsprechende die der pseudoskopischen Wirkung entsprechende Tiefenperspective ergiebt.

Der letzterwähnten Thatsache entsprechend kann die in der Abbildung wiedergegebene Anordnung des Doppeloculares — wobei das Ocular *B'* einen Deckel mit Halbblende, das Ocular *B* einen gewöhnlichen, die Stellung des Auges einigermaassen bestimmenden Oculardeckel erhält — als die normale angesehen werden. Dabei wird aber der durch die Art der Strahlenhalbirung bedingte Lichtverlust auf etwa $^1/_6$

der gesammten Lichtmenge zurückgeführt und kommt praktisch selbst da nicht in Betracht, wo eine erhebliche Einbusse an Helligkeit einen ernstlichen Nachttheil bringen würde.

Ausser dem beschriebenen ist, soviel mir bekannt, bei uns bis jetzt nur noch das Doppelocular von Dr. Hartnack in Gebrauch gekommen, dessen Einrichtung und Wirkungsweise ich nicht näher kenne, welches aber von anderer Seite gerühmt wird.

3. Beleuchtungsapparate.

147 Was zunächst die Hülfsmittel zur Beleuchtung durchsichtiger Gegenstände betrifft, so wird man, wie ich oben schon erwähnt habe, bei der Vollkommenheit, in welcher gegenwärtig die optischen Hauptheile und namentlich die Objectivsysteme des Mikroskopes hergestellt werden, nur in einzelnen Fällen und bei besonderen Veranstaltungen (photographischen Aufnahmen u. dergl.), namentlich aber, wenn es sich darum handelt, in bequemster Weise die verschiedenen Beleuchtungsarten nach einander verwenden zu können, einer vollkommeneren Beleuchtungsvorrichtung bedürfen, als sie der allseitig bewegliche, doppelte Spiegel gewährt. Und selbst dann erfordert es, wie ich mich aus eigener Anschauung und Erfahrung hinlänglich überzeugt habe, keineswegs so kostbarer und zusammengesetzter und dabei ihrem Zwecke oft wenig entsprechender und in ihrer Verwendung meist beschränkter Apparate, wie sie namentlich von manchen englischen Mikrographen so warm empfohlen werden. Wir reichen unter allen Verhältnissen mit weit weniger kostspieligen und einfacheren Apparaten aus, und man wird es mir daher auch gerne gestatten, dass ich nicht weiter auf jene complicirten Vorrichtungen eingehe und mich — soweit dieselben nicht schon in dem Früheren (Abschnitt I) betrachtet worden sind — auf die Beschreibung der letzteren beschränke.

148 **Wollaston's Beleuchtungslinse.** — Der einfachste derartige Beleuchtungsapparat besteht in der schon von Wollaston an seinem einfachen Mikroskope angebrachten, am besten halbkugelförmigen, planconvexen Beleuchtungslinse, welche selbst für die neuesten Objectivsysteme für homogene Immersion mit sehr hoher numerischer Apertur ausreichend erscheint, um mittelst des aus der Achse gebrachten Spiegels möglichst schiefe Beleuchtung zu erzielen.

Der Durchmesser einer derartigen Linse braucht je nach dem Durchmesser der Objectivöffnung 12 bis 18 mm kaum zu übersteigen und es kann dieselbe einfach mittelst eines Tropfen Wassers, Glycerins oder dergleichen unten an den Objectträger angeklebt, od[illegible]en passenden flachen Messingring gefasst (um die stärkst ge[illegible]en nicht

abzuschneiden), in die Tischöffnung eingesetzt, durch dieselben Mittel mit ihm verbunden werden.

Man kann diese Linse in Verbindung mit entsprechenden Blendungen auch für centrische sowie zur Erzielung allseitig mässig schiefer Beleuchtung und zur Erzeugung positiver Bilder in dunklem Gesichtsfelde verwenden und es kann dieselbe zu diesem Zwecke an allen Mikroskopen, welche mit Cylinderblendungen versehen sind, leicht und ohne bedeutende

Fig. 175.

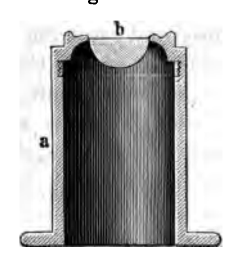
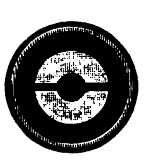


Fig. 176.



Kosten angebracht werden. Man lässt sie nämlich in einen der federnden Hülse des Schlittens genau eingeschliffenen Messingcylinder *a* (Fig. 175) so einsetzen, dass sie mittelst einer Verschraubung nach Belieben entfernt werden kann, und erreicht auf diese Weise eine hinreichend umfängliche Beweglichkeit in senkrechter Richtung und genau in der optischen Achse. Die Blendungen zur Abhaltung der Randstrahlen sowohl als der Mittelstrahlen, welche immer am besten über der Linse (Fig. 176) angebracht werden, sind schlüsselförmig und haben einen geraden Rand, welcher über den oben etwas eingeschnittenen Rand der Fassung greift, so dass sie bei möglichst genauer Centrirung leicht gewechselt werden können. Als Blendungen erster Art genügte die Anzahl mit den gleichen Oeffnungen, wie sie oben bei den Hartnack'schen Cylinderblenden beschrieben sind. Zur Abhaltung der Mittelstrahlen reichen gleichfalls drei Blendungen vollständig aus, von denen die kleinste einen Durchmesser von 1,5 bis 2, die mittlere von etwa 3, die grösste von 5 bis 6 mm besitzt.

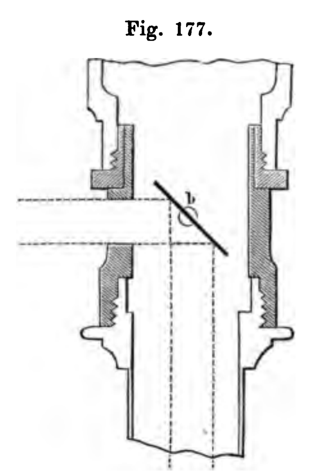
149 **Abbe's Beleuchtungsapparat.** — Dieser Beleuchtungsapparat, welcher Seite 138 u. f. ausführlich beschrieben worden ist und über dessen Wirkungsweise und weitgehende, die an eine vollkommene derartige Vorrichtung überhaupt zu stellenden Ansprüche durchaus befriedigende Verwendungsfähigkeit wir an der gleichen Stelle gesprochen haben, wird in vorzüglicher Ausführung von Dr. Carl Zeiss in Jena um den Preis von 55 Mark geliefert, hat aber auch bereits vielfältige Nachahmung gefunden, und findet sich unter Anderem in dem Preisverzeichnisse von Boecker (50 Mark), Leitz (50 Mark), Seibert (54 Mark), Schieck (50 Mark), Hartnack (40 bis 50 Mark), Reichert (60 Mark) aufgeführt.

Soll beim Gebrauche des Abbe'schen Beleuchtungsapparates mit polarisirtem Lichte beobachtet werden, so braucht nur der in der später zu beschreibenden Weise gefasste Polarisator an die Stelle einer Blendung in den Träger eingesetzt zu werden.

Arbeiten mit sehr schwachen Vergrösserungen und nur wenig ausgedehnter Lichtquelle erfordert, dass man, um eine gleichförmige und ausreichende Beleuchtung des Sehfeldes zu erreichen, den Spiegel mit einem Stücke weissen Papieres oder Cartons überdeckt. Wird mit Lampenlicht beobachtet, so ist es zweckmässig, in gerader Linie zwischen Flamme und Spiegel eine möglichst grosse Sammellinse, und zwar am einfachsten eine mit mässig blau gefärbtem Wasser gefüllte grosse Glaskugel — sogenannte Schusterkugel — einzufügen, um die Leuchtkraft der kleinen Flamme auf deren grössere Oberfläche zu übertragen, was erreicht ist, wenn die Spitze des so hergestellten Lichtkegels den Spiegel trifft und dessen Fläche vollständig erhellt.

150 Ueber die Vorrichtungen für Beleuchtung mittelst auffallenden Lichtes ist schon früher S. 140 u. f. gesprochen worden und soll die Erzeugung positiver Bilder auf dunklem Grunde später näher erörtert werden. Hier mögen nur noch einige in neuerer Zeit zu besonderen Zwecken — namentlich zur Beobachtung feiner Streifungen von Diatomeen und dergleichen — mittelst mittleren und stärkeren Vergrösserungen ersonnene Vorrichtungen Erwähnung finden, welche unter den Namen **„Verticaler Illuminator"**, **„Innerer Illuminator"**, **„Opak-Illuminator"** bekannt sind, und deren Wesen darin besteht, dass von oben her Lichtstrahlen in das Objectivsystem geworfen werden, welches dieselben auf dem Objecte concentrirt. In seiner einfachsten Gestalt, wie ihn R. & J. Beck anfertigen, besteht dieser Apparat aus einem kurzen Rohre als Zwischenstück zwischen Tubus und Objectivsystem (Fig. 177), welches an der Seite eine Oeffnung besitzt, während im Inneren ein um eine horizontale Achse *b* drehbares dünnes Deckglas als Reflector dient. Etwas abgeänderte Constructionen rühren von Powell & Lealand und Tolles her, von denen die einen ein Spiegelchen, der andere ein Prisma zur Reflexion verwendet. Von deutschen Optikern hat einen derartigen Apparat H. W. Seibert zu 10 Mark verzeichnet, er wird aber, soviel ich weiss, auf Wunsch auch von anderen Werkstätten angefertigt.

Fig. 177.



5. Polarisationsapparate.

Die Bedeutung des polarisirten Lichtes, auf das wir in einem späteren Abschnitte ausführlicher zurückkommen werden, für die Untersuchung organischer Gewebe ist erst in der neueren Zeit gehörig gewürdigt worden. Es rühren daher die Versuche zur Herstellung polarisirender Apparate, welche in Verbindung mit dem Mikroskope gebraucht werden sollen und können, erst aus den letzten Jahrzehnten her. 151

Die Grundbedingung der Einrichtung mikroskopischer Polarisationsvorrichtungen beruht darauf, dass die vom Spiegel zurückgeworfenen Lichtstrahlen polarisirt werden, ehe sie auf den zu beobachtenden Gegenstand treffen, und dass sie dann durch ein weiteres Polarisationsmittel hindurchgehen müssen, ehe sie von dem Auge des Beobachters aufgenommen werden. Man bedarf also bei unserem in Rede stehenden Apparate zunächst eines Polarisators, der seine Stellung zwischen dem Spiegel und dem Objecte erhält, und dann eines Analysators, der zwischen den letzteren und das Auge zu stehen kommt.

Obwohl es verschiedene Polarisationsmittel giebt (Spiegel, Glasplattensätze u. dergl.), so hat man sich doch bei dem Polarisationsapparate für das Mikroskop allgemein für die Anwendung der Prismen aus Kalkspath entschieden, da nach den gemachten Erfahrungen nur mittelst ihres Gebrauches die möglichst vollkommene Wirkung erreicht werden kann.

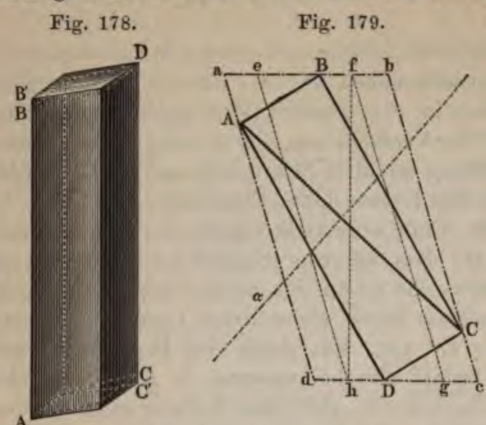
Von derartigen Prismen, welche Strahlenkegel von mindestens 18^0 bis 20^0 auf das Object gelangen lassen müssen und deren Wirkungsweise wir in dem nächsten Abschnitte näher betrachten werden, kommen — da das Foucault'sche Prisma eine zu kleine Oeffnung besitzt — nur das schon länger bekannte Nicol'sche, das neuerer Zeit construirte Hartnack-Prazmowski'sche, sowie das Abbe'sche Prisma zur Anwendung.

Das Nicol'sche Prisma, Fig. 178 (a. f. S.), führt mehrere Uebelstände mit sich. Erstlich verhält sich der Durchmesser der langen Diagonale seiner schiefen Endflächen zu dessen Länge wie 1 : 3 und es ist leicht ersichtlich, dass wenn jener und damit das brauchbare Sehfeld nicht zu klein ausfallen soll, das Prisma sehr gross und damit auch sehr theuer werden muss. Ausserdem machen sich bei der starken Neigung der Lichtstrahlen gegen die Ein- und Austrittsfläche Fehler in der Ausführung, welche bei der empfindlichen Substanz des isländischen Doppelspathes unvermeidlich sind, durch beträchtliche Bildstörungen geltend, und endlich wird durch den schiefen Einfall in Folge von Zurückwerfung die Lichtstärke merklich vermindert.

Diesen Uebelständen hilft die von Hartnack-Prazmowski erfundene Construction (Fig. 179, a. f. S., *A*, *B*, *C*, *D*) (Carl's Repertorium,

Bd. I, Seite 325 und Bd. II, S. 317), welche unter dem oben genannten Namen bekannt ist, ab, indem sie es möglich macht, bei gleicher Dicke eines gewöhnlichen Nicols das Prisma zu verkürzen, die Eintritts- und Austrittsfläche nahezu senkrecht zu der Richtung der Lichtstrahlen zu legen und zugleich den Oeffnungswinkel zu vergrössern. Das später zu besprechende Abbe'sche Prisma zeichnet sich vor Allem dadurch aus, dass es eine im Umfange des ganzen Sehfeldes gleiche Bildschärfe gewährt.

Fig. 178. Fig. 179.



Der Polarisator (Fig. 180, a. f. S.) nimmt nach dem Obigen seinen ein- für allemal bestimmten Platz zwischen Lichtquelle und Object an der unteren Seite des Objecttisches ein, und kann, wo dieser vorhanden ist, in der einfachsten Weise mit dem Apparate für die Cylinderblenden verbunden werden. In Bezug auf die Stellung des Analysators innerhalb des optischen Gesammtapparates hat man dagegen verschiedene Wege eingeschlagen. Man bringt denselben nach dem Vorgange Chevalier's unmittelbar über dem Objectivsysteme, nach Harting nahe unter, nach Tolbat über dem Ocular, nach Professor Abbe innerhalb des Oculares und zwar, um den abgelenkten (ausserordentlichen) Strahl bei seinem Austritte aus der Augenlinse möglichst weit von der Achse oder dem Augenpunkte abzulenken und ein nicht zu grosses Prisma verwenden zu müssen, möglichst weit von der Augenlinse dicht über der Blendung an.

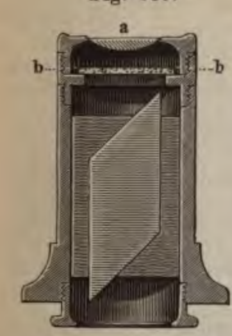
Die Stellung des Analysators über dem Objective wurde früher mehrseitig, namentlich auch von Hartnack befolgt. Dieselbe ist indessen zu verwerfen, denn obgleich dabei das Sehfeld in keiner Weise beschränkt wird und bequem überblickt werden kann, so bewirkt doch die Einschaltung eines so massigen Körpers, wie das polarisirende Prisma in den Strahlengang, eine Beeinträchtigung der Bildschärfe, die für feinere Untersuchungen von entschiedenem Nachtheile werden muss.

Am besten zum Ziele führend erscheint mir die von Abbe befolgte Anordnung. Zwar bleibt man dabei an eine bestimmte Angularvergrösserung gebunden, was bei der Stellung des Analysators über dem Oculare nicht der Fall ist; dagegen lässt dieselbe bei dem grossen Abbe'schen Prisma das ganze Sehfeld uneingeschränkt und mit voller Bildschärfe übersehen, so da[illegible] man bei parall[illegible] tionsebenen (hellem Gesichtsfeld) die de[illegible] ng unter[illegible] ate ebenso

gut durchmustern kann, wie wenn man ein gewöhnliches Ocular einsetzt, dann gewährt sie gekreuzten Polarisationsebenen eine sehr gleichmässige und volle Verdunkelung.

Die Fassung der Prismen muss sich nach dem Bau der Stative richten. Wo diese mit einem Oberhauser'schen Blendungsapparate versehen sind, wird der Polarisator (Fig. 180) nebst halbkugeliger Beleuchtungslinse einfach in einen — hie und da unten mittelst eines abschraubbaren Glasdeckels geschlossenen — Messingcylinder gefasst, welcher in die Hülse des ersteren eingeschliffen und darin in senkrechter Richtung beweglich ist, im anderen Falle wird er in eine weitere Tischöffnung mittelst vorspringendem Ringe eingesetzt und beim Nichtgebrauche jene mittelst einer Scheibe geschlossen, welche eine concentrische der gebräuchlichen Tischöffnung entsprechende Oeffnung besitzt. Zur Verbindung mit dem Abbe'schen Beleuchtungsapparate wird die Fassung so eingerichtet, dass sie in den Blendungsträger eingelegt werden und in entsprechenden kreisförmigen Vertiefungen die später zu besprechenden verzögernden

Fig. 180.



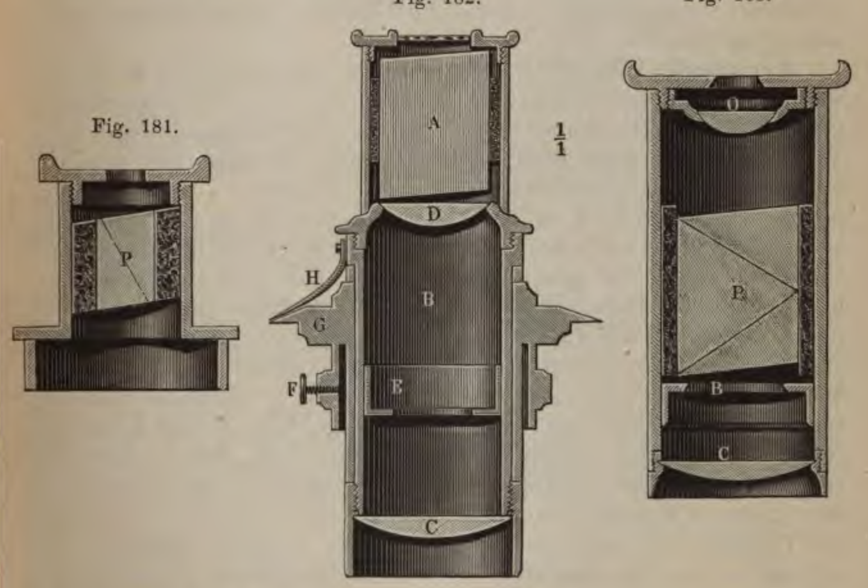


Fig. 181. Fig. 182. Fig. 183.

Plättchen, sowie über diesen die erforderlichen Scheibenblendungen aufnehmen kann.

Soll das analysirende Prisma über das Ocular gestülpt werden, so giebt man der Fassung die Form wie in Fig. 181 (a. v. S.), so dass sich der weitere Mantel, unter dem Prisma *P* an dem Oculardeckel Führung nehmend, über diesem dreht. Wenn derselbe mit Kreistheilung und Fadenkreuz versehen werden soll, um Winkelmessungen — z. B. bei circularpolarisirenden Substanzen — auszuführen, wird das Prisma mit dem Oculare verbunden. Eine derartige Einrichtung besitzen z. B. die Analysatoren von Dr. Hartnack, Leitz, Reichert, Seibert, Krafft u. A. Bei dem gewöhnlichen Hartnack'schen Analysator (Fig. 182, a. v. S.) dreht sich das fest mit dem Ocular *B* verbundene Nicol *A* in einer äusseren Hülse *G*, welche mit dem inneren längeren Theile in das Rohr des Mikroskopes eingeschoben und mittelst der Schraube *F* festgestellt wird. Der ringförmige Vorsprung dieser Hülse ist am Rande abgeschrägt und mit einer Kreistheilung versehen, über welcher der Zeiger *H* beim Drehen hingleitet. Wird das Prisma mit einem Fadenkreuz-Ocular vereinigt, so wird die bei dem mineralogischen Mikroskope schon besprochene Einrichtung gewählt.

Die Einrichtung des Abbe'schen Analysator-Oculares, in welchem das grosse Abbe'sche Prisma *P* die Stelle über der Blendung *B* einnimmt, ist hinreichend aus der beistehenden Figur ersichtlich. Dasselbe kann mit dem bei dem Goniometer-Ocular zu besprechenden und abgebildeten Aufsatze verbunden werden und erhält dann einen Zeiger mit Strichmarke aufgeschraubt, um die durchlaufene Drehungsgrösse genau ablesen zu können.

Für manche Fälle der Untersuchung in polarisirtem Lichte ist es wünschenswerth, den polarisirten Lichtstrahl, ehe er zu dem Gegenstande gelangt, durch ein dünnes Plättchen aus einem doppeltbrechenden Mittel, z. B. aus Gyps oder Glimmer, treten zu lassen und dadurch Farbenerscheinungen hervorzurufen, welche über die Lage der Achsen, die Art der Doppelbrechung etc. Aufschluss zu geben im Stande sind. Um aber hierbei die betreffenden Erscheinungen, Farbenfolge u. dergl., möglichst vollständig und genau verfolgen zu können, ist es erforderlich, dass man diese Plättchen in der horizontalen Ebene umdrehen und ihnen eine bestimmte Lage in Bezug auf die Polarisationsebenen der Prismen geben könne. Man thut daher gut, dieselben in geeigneter Weise so zu fassen oder fassen zu lassen, dass sie lose über die Beleuchtungslinse oder noch besser — wie bei *b* der Fig. 183 (a. v. S.) und bei dem Abbe'schen Beleuchtungsapparate — zwischen diese oder das Beleuchtungssystem und den Nicol des Polarisators gelegt und umgedreht werden können. Hat man dann einmal die Lage bestimmt, in welcher ein Plättchen die lebhaftesten Farben giebt, wenn die beiden Nicols gekreuzt sind, in welcher also dessen Schwingungsebene diejenigen der Prismen unter einem Winkel von 45° schneidet, so [illegible] man die mit dieser Schwingungsebene zusam[illegible] deren Endpunkten durch Marken, um d[illegible]gen

sogleich die richtige Stellung geben zu können. Eine Reihe von vier Gypsplättchen von Roth erster bis vierter Ordnung, sodann eben so viele Glimmerplättchen, von denen das dünnste das Gesichtsfeld nur schwach erhellt, das dickere eine merkliche Erhellung, aber noch keine bestimmte Färbung hervorruft, sollen dann aber nach den Erfahrungen von H. v. Mohl vollkommen genügen. Die meisten optischen Werkstätten, sowie Dr. Steeg und Reuter in Homburg, liefern eine solche Sammlung von 8 Plättchen um den Preis von 8 bis 12 Mark.

6. Spectralapparate.

Das Spectralocular. Das Spectralocular besteht im Wesentlichen aus drei Theilen: aus einer zur Zerlegung des in der Richtung der Mikroskopachse einfallenden Lichtes, d. h. zur Erzeugung des Spectrums, dienenden „geradsichtigen" Prismenverbindung, aus zwei zu einem Ocular verbundenen Linsen und dem zwischen diesem angebrachten Spalt, welcher dazu dient, den einfallenden Strahlenkegel zu verschmälern und damit möglichst wenig gegen die Eintrittsfläche der Prismen geneigte Lichtstrahlen zu vermitteln. Bei den vollständigeren Instrumenten wird nebst einem geeigneten Messapparate noch ein kleines, rechtwinkliges Prisma, das Vergleichsprisma, unter dem Spalt angebracht, welches von der Seite her auf dasselbe treffende Lichtstrahlen nach oben reflectirt und neben dem Hauptspectrum ein zweites, das Vergleichsspectrum, erzeugt. 152

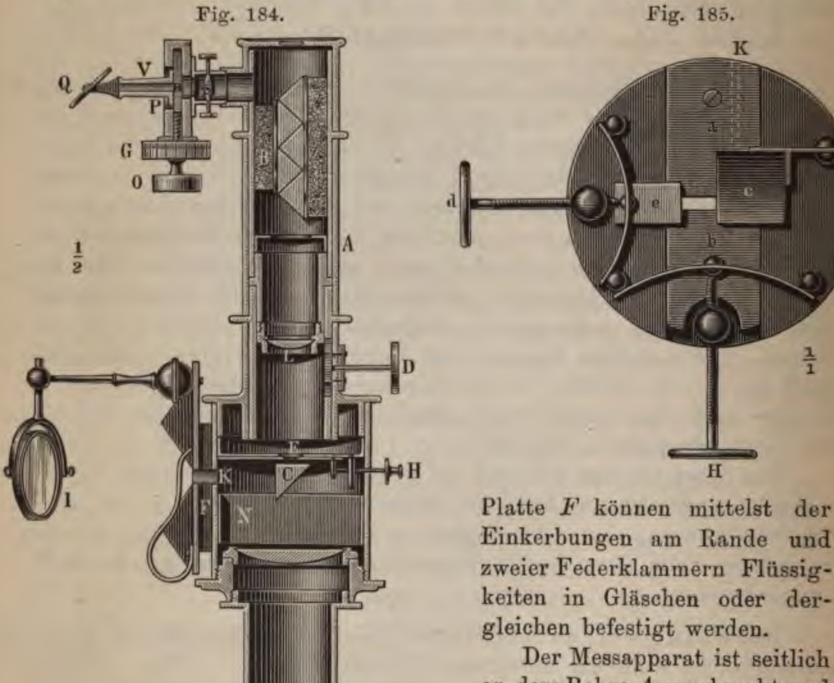
Das Spectralocular wird wie ein gewöhnliches Ocular in das Mikroskoprohr eingesetzt und kann bei Präparaten, welche eine grosse Ausdehnung besitzen, ohne Objectivsysteme benutzt werden, während man im anderen Falle schwache Objectivsysteme von möglichst grosser Oeffnung verwendet.

Browning's Spectralocular. — Den ältesten Mikrospectralapparat bildet wohl das durch seine bedeutende Höhe — etwa 160 mm ohne Ansatzrohr — etwas unbequeme Spectralocular von Browning (Fig. 184 und Fig. 185, a. f. S.), welches dieser Optiker nach Professor Sorby's und seinen eigenen Ideen construirt hat (Browning, Spectrum apparatus for the microscope 1870) und welches in einer der ursprünglichen mehr oder weniger ähnlichen Ausführung, und zwar mit und ohne Messapparat von Seibert & Krafft, Leitz, Schmidt & Haensch, Engelbert & Hensoldt, Schieck, Reichert u. A. um den Preis von 90 bis 160 Mark geliefert wird. 153

In dem Rohre A lässt sich das die Prismenverbindung und eine achromatische Linse L enthaltende Rohr B mittelst des Triebes D derart verschieben, dass der Spalt E sich im Brennpunkte der Linse befindet und die Lichtstrahlen nach ihrem Durchgange durch dieselbe parallel auf die Prismen fallen. Die Verkürzung und Verlängerung sowie die

Verengerung und Erweiterung des Spaltes wird mittelst der Schrauben *d* und *H* (Fig. 185) bewirkt. Erstere bewegt die Deckplatte *e* gegen eine zweite, feste Platte, letztere die Deckplatte *b* nach vorn gegen die Platte *a*, während beide Platten beim Zurückdrehen der betreffenden Schrauben mittelst der beiden aus der Figur ersichtlichen Stahlfedern in entsprechendem Maasse zurückgeführt werden. Das Vergleichsprisma *c* verdeckt theilweise den Spalt und es wird ihm von dem seitlichen Spiegel *I* mittelst des durch einen Schieber *N* verschliessbaren, in der Platte *F* angebrachten Spaltes *K* das erforderliche Licht zugeführt. Auf der

Fig. 184. Fig. 185.



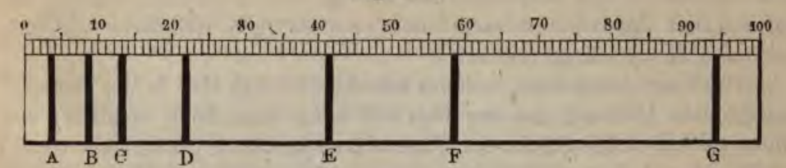
Platte *F* können mittelst der Einkerbungen am Rande und zweier Federklammern Flüssigkeiten in Gläschen oder dergleichen befestigt werden.

Der Messapparat ist seitlich an dem Rohre *A* angebracht und enthält eine auf einem undurchsichtigen Glasplättchen *P* befindliche, durchsichtige Figur — z. B. eine feine Linie, ein Kreuz oder einen kleinen Rhombus —, welche von dem *P* gegenüberstehenden, verstellbaren Spiegel *Q* kommende mittelst des Röhrchens *V* ihr zugeführte Lichtstrahlen in das Rohr *A* und damit auf die Austrittsfläche der Prismenverbindung treten lässt und dort unter Vermittelung der verschiebbaren convexen Linse *S* scharf abgebildet wird. Die abgebildete Lichtmarke wird nun zugleich mit dem Spectrum gesehen und kann mittelst der Mikrometerschraube *O* über demselben verschoben werden, während die Grösse der Verschiebung auf der Trommel *G* abgelesen wird.

Zur genauen Bestimmung der Lage etwa zu beobachtender Absorp-

tionsbänder muss die Trommel *G* mit den Fraunhofer'schen Linien des Sonnenspectrums in Beziehung gebracht werden. Dies geschieht dadurch, dass man gedämpftes Sonnenlicht oder möglichst helles Tageslicht von unten in den Apparat einfallen lässt, die Lichtmarke nach und nach auf die stärkeren Fraunhofer'schen Linien einstellt, die ent-

Fig. 186.

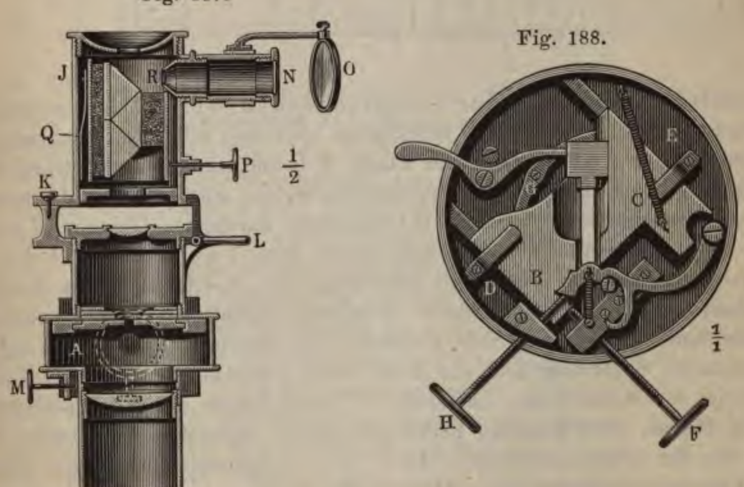


sprechenden Umdrehungsgrössen der Mikrometertrommel notirt und die so erhaltenen Zahlen auf einen aus 100 gleichen Theilen bestehenden Maassstab aufträgt, Fig. 186.

154 Abbe's Spectralocular (Fig. 187 und 188), welches von der Zeiss'schen Werkstätte geliefert wird, bildet einen wesentlichen Fortschritt auf diesem Gebiete und zeichnet sich bei handlicher Form — dasselbe hat ohne Ansatzrohr eine Höhe von 80 mm — durch wesentliche Verbesserungen der Construction aus.

Das durch grosse Dispersion ausgezeichnete Amici'sche Prisma befindet sich in der Hülse *I*, welche um den excentrischen Zapfen *K*

Fig. 187. Fig. 188.



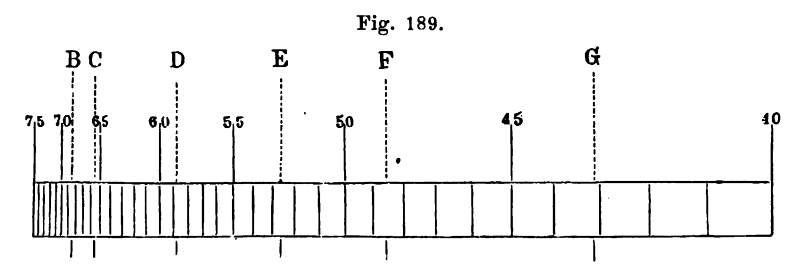
drehbar ist und durch die Sperrklinke *L* über dem Ocular festgehalten wird, während sie nach Niederdrücken der letzteren zur Seite gedreht werden kann, um das Ocular frei zu machen.

Der Spalt wie das Vergleichsprisma sind der zwischen den beiden Ocularlinsen angebrachten Trommel A in der in Fig. 187, a. v. S.) dargestellten Weise eingefügt. Der erstere ist der Merz'schen Spaltvorrichtung nachgebildet und besteht aus den beiden durch den Hebelarm G mit einander verbundenen Metallplatten B und C, welche zur Erweiterung oder Verengerung des Spaltes durch die Schraube F zwischen den Schienen D und E symmetrisch bewegt werden können, während die auf den mit Spannfedern versehenen rechtsseitigen Hebelarm wirkende Schraube H die Länge regulirt.

Das Vergleichsprisma, welches sein Licht durch eine in der Trommel angebrachte Oeffnung (in der Fig. 187 unter dem Spalt sichtbar) von einem seitlichen Spiegel (in der Figur durch punktirte Linien angedeutet) erhält, ist mit dem rechtsseitig über G (Fig. 188) befindlichen Hebelarm verbunden und kann mittelst desselben vor die eine Spalthälfte geführt und wieder weggeschlagen werden.

Der Messapparat von neuer Construction, welcher eine absolut und allgemein gültige Lagenbestimmung von Lichtlinien im unterbrochenen oder von Absorptionsbanden im ununterbrochenen Spectrum durch

Fig. 189.



unmittelbare Angabe der entsprechenden Wellenlänge ermöglicht, ist in der an der Hülse I befestigten, seitlichen Röhre untergebracht. Derselbe besteht aus der auf der Platte N befindlichen mikrometrischen Scala (Fig. 189, auf 100 mm vergrössert), welche mittelst des auf einem Ringe verschiebbaren Spiegels O beleuchtet, durch das Objectiv R auf das Spectrum projicirt wird und durch ihre Theilung und Bezifferung die Wellenlänge in jeder Stelle des Spectrums (nach Angström) in Theilen des Mikron abzulesen gestattet. Die Theilung dieser Scala geht bis zu den Einheiten der zweiten Decimalstelle und kann durch Schätzung noch die dritte Stelle bestimmt werden. Die Einstellung der Scala muss, nachdem ihr Parallelismus mit dem Spectrum durch Drehen ihrer Fassung herbeigeführt ist, mittelst der Schraube P und der ihr entgegenwirkenden Feder Q so vorgenommen werden, dass die Fraunhofer'sche Linie D auf 0,589 trifft.

Zur scharfen Einstellung des Spectrums und der Scala ist einerseits das Augenglas unterhalb der Hülse I, andererseits das Objectiv O in dem Scalenrohre verschiebbar und müssen beide so gestellt werden, dass

die Fraunhofer'schen Linien mit der Scala zugleich deutlich erscheinen und bei einer Bewegung des Auges keine seitliche Verschiebung gegen deren Theilstriche erkennen lassen.

Zum bequemen Aufzeichnen der mit dem Spectralocular gemachten Beobachtungen werden lithographirte Blätter geliefert, welche die Scala auf die Länge von 100 mm vergrössert je zehnmal aufgetragen enthalten.

Der Spectropolarisator. — Schon im Jahre 1871 wies Valentin (Beiträge zur Mikroskopie III. Max Schulze's Archiv für mikroskop. Anat. Bd. VII) darauf hin, wie die Müller'schen Streifen, welche man erhält, wenn durch ein Gypsplättchen geleitetes polarisirtes Licht mittelst eines Spectralapparates zerlegt wird, verwendet werden können, um die doppeltbrechenden Eigenschaften mikroskopischer Objecte zu untersuchen. Die von Valentin empfohlene Combination, wobei das Spectralocular über den Analysator zu stehen kommt, konnte indessen in dieser Richtung nur Unvollkommenes leisten, während die von Professor Rollet erdachte, später von Professor Abbe meinen Wünschen entsprechend vervollkommnete, in dem Handbuche für allgemeine Mikroskopie ausführlich beschriebene Einrichtung, bei der durch den Polarisator gegangenes Licht in der Objectebene ein Spectrum erzeugt, während der Analysator an seiner gewöhnten Stelle bleibt, und welche ich als Spectropolarisator bezeichnen will, zu einem gewichtigen Hülfsmittel der mikroskopischen Forschung werden dürfte. 155

7. Vorrichtungen zum Nachzeichnen.

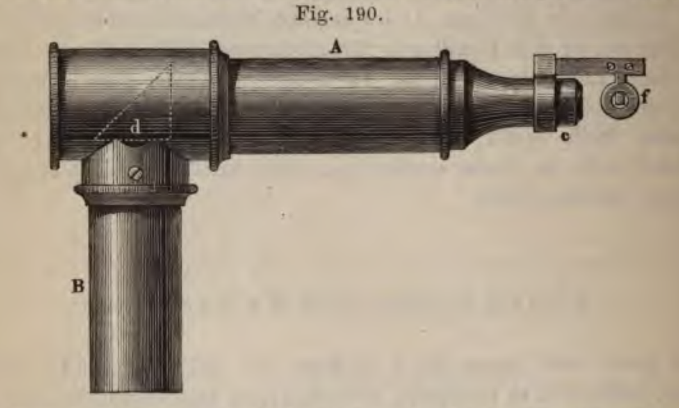
Es giebt wohl kaum einen anderen der mikroskopischen Nebenapparate, welcher in so vielfachen Abänderungen angefertigt und von den Mikroskopikern benutzt wird, wie die Vorrichtungen zum Nachzeichnen (Camera lucida). An jeden derartigen Apparat ist als erste Forderung diejenige zu stellen, dass er auch bei starken Objectivsystemen keinen oder doch keinen merklichen Lichtverlust im mikroskopischen Bilde herbeiführe und dass man bei gleichmässiger Schärfe das ganze Sehfeld übersehen könne, während es zugleich wünschenswerth erscheint, dass die Zeichenfläche eine horizontale sei. Da es bei dem Gebrauche der Camera lucida in der That fast mehr auf Gewohnheit und Uebung, als auf die Eigenthümlichkeit des Baues ankommt, so erfüllen sie alle, wenn auch in mehr oder minder hohem Grade, ihren Zweck. Indessen zeigen sich doch, was die Bequemlichkeit und Sicherheit betrifft, mit der man den Umrissen eines Objectes folgen kann, nicht unerhebliche Abweichungen bei den verschiedenen Apparaten. Ich werde mich daher auf die Beschreibung derjenigen Vorrichtungen beschränken, welche sich für den im Gebrauch weniger Geübten als am meisten empfehlenswerth erweisen. 156

157 **Oberhäuser's Zeichenprisma.** — Die Oberhäuser'sche Zeichenvorrichtung (Fig. 190) beruht auf dem Principe der gänzlichen Zurückwerfung und besteht aus einem gebrochenen Oculare, mit welchem das kleine rechtwinklige, von einem Ringe umgebene Glasprisma *f* derart verbunden ist, dass dessen eine Kathete parallel zur Oberfläche der Ocularlinse, die andere aber parallel zur Zeichenfläche steht.

Das gebrochene Ocular besteht aus zwei rechtwinklig mit einander verbundenen innen geschwärzten Röhren *A* und *B*. In der Bahn der von dem Objectiv ausgehenden Strahlenbündel befindet sich das grössere rechtwinklige Prisma *d* und in dem vorderen Ende der Röhre *B* ein gewöhnliches Ocular *c*.

Die von dem mikroskopischen Bilde ausfahrenden Strahlenbündel werden gemäss dieser Einrichtung an der Hypotenusenfläche des Prismas *d* vollständig zurückgeworfen und treten dann in das Ocular so ein, dass sie ein in senkrechter Ebene projicirtes Bild erzeugen. Durch das

Fig. 190.



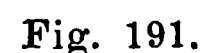
zweite vor dem Ocular befindliche Prisma *f* erleiden dieselben dann eine zweite totale Zurückwerfung, und das mikroskopische Bild wird auf die horizontale Ebene des Tisches projicirt. Während man nun an dem kleinen Prisma vorbeisieht, das einen geringeren Durchmesser besitzt, als die normale Oeffnung der Pupille, erblickt man zugleich mit und über dem Bilde die Spitze des Zeichenstiftes und kann mit Leichtigkeit dem Umrisse folgen. Die Nachzeichnung wird hier sehr erleichtert, wenn man die Beleuchtung der Zeichenfläche so regulirt, dass sie mit derjenigen des Sehfeldes möglichst übereinstimmt.

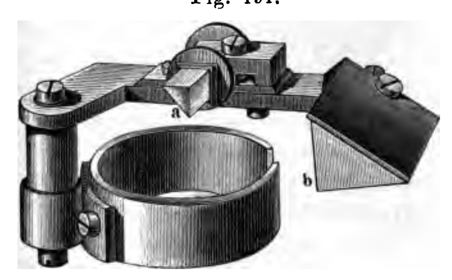
Diese Vorrichtung, welche Hartnack, Zeiss, sowie fast sämmtliche optische Werkstätten um den Preis von 35 bis 40 Mark liefern, bildet, da sie im Ganzen einen verhältnissmässig nicht zu grossen Lichtverlust nach sich zieht und an jeder Stelle des Sehfeldes gleich gut zeichnen lässt, was bekanntlich nicht von allen Zeichenapparaten gesagt werden kann, ein recht geeignetes Hülfsmittel zum mikroskopischen Zeichnen und dürfte namentlich auch dem weniger Geübten zu empfehlen

sein. Das Einzige, was sie zu wünschen übrig lässt, ist der Umstand, dass das Sehfeld etwas beschränkt erscheint und dass das Ocular ein- für allemal fest mit dem Zeichenprisma verbunden ist. Man kann daher für je ein Objectivsystem nur bei einer Vergrösserung zeichnen, was hier und da insofern lästig wird, als man in manchen Fällen gern bei einer ganz bestimmten oder doch bei der Vergrösserung zeichnen möchte, unter der man eine bestimmte Thatsache beobachtet hat.

Bei dem beschriebenen Apparat erblickt man das mikroskopische Bild mittelst zweifacher — theilweiser oder vollständiger — Zurückwerfung durch Spiegel oder Prismen über der Zeichenfläche projicirt, diese selbst dagegen sowie den Zeichenstift unmittelbar. Durch diese Einrichtung verliert das erstere natürlich immer, sei es mehr, sei es weniger, an Lichtstärke, was namentlich bei den stärkeren Vergrösserungen etwas störend wirkt. Anders gestaltet sich dies bei den nachfolgend beschriebenen Vorrichtungen, bei denen man das Sehfeld des Mikroskopes mit dem Auge unmittelbar übersieht, also das Bild betrachtet, und über diesem dann Zeichenfläche und Stift in gleicher Weise und durch die gleichen Mittel wie vorher projicirt erblickt.

158 **Camera lucida nach Doyère und Milne-Edwards.** — Diese Zeichenvorrichtung (Fig. 191), welche von Hartnack in Paris schon seit Jahren geliefert wird, ist handlich und bequem gebaut, während das Sehfeld ganz übersehen werden kann und der Lichtverlust so unbedeutend ist, dass ihre Anwendung auch bei hohen Vergrösserungen und den stärkeren Ocularen nicht behindert wird. Die kleine Vorrichtung besteht aus zwei dreiseitigen, rechtwinkligen Prismen, von denen das kleinere, *a*, sich über dem Oculare befindet, während das grössere, *b*, die erste Spiegelung des Zeichenstiftes übernimmt. Da das über dem Ocular befindliche Prisma nur eine sehr kleine Oberfläche hat, so sieht man an demselben vorbei direct in das Mikroskop und dort das Bild des betreffenden Objectes, während durch die doppelte Spiegelung mittelst der Prismen *a* und *b* die Zeichenfläche, welche, um Verzeichnung zu verhüten, um etwa $22^1/_2{}^0$ gegen die Horizontale geneigt sein muss und die Spitze des Stiftes über jenem projicirt erscheinen. — Hartnack hat diese Camera lucida mit 28 Mark verzeichnet, während andere Werkstätten dieselbe um 30 bis 36 Mark liefern.

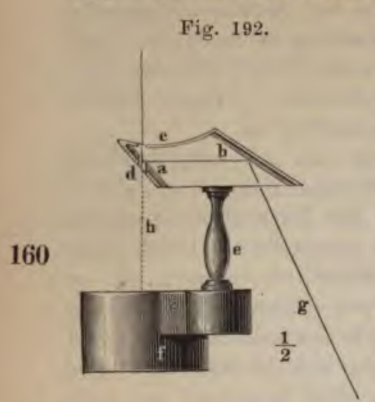

Fig. 191.



159 **Der kleine Zeichenapparat von Seibert** (Fig. 192, a. f. S.) besteht aus den zwei Spiegeln *a* und *b*, welche an der Innenseite eines unten offenen Gehäuses angebracht sind. In der Mitte des ersteren ist auf

einer kreisrunden mit der Mikroskopachse concentrischen Stelle der Beleg weggekratzt und über dieser in der Fassung eine ähnliche kleine Oeffnung angebracht. Das Gehäuse ruht auf dem Säulchen *e*, welches mit dem auf das Mikroskoprohr aufzusteckenden Ringe *f* verbunden ist. Der Strahlengang ist aus der Figur ersichtlich und es geht daraus hervor, dass die Zeichenfläche wie bei den vorhergehenden eine geneigte sein muss. Der Preis beträgt 18 Mark.

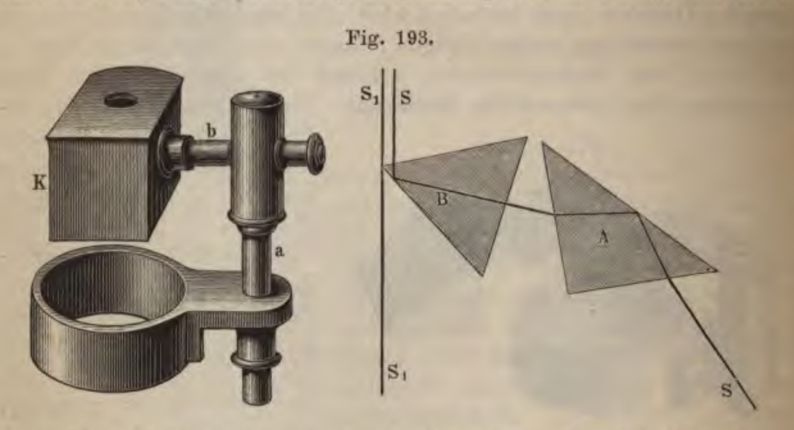
Fig. 192.



160

Zeiss' Camera lucida mit zwei Prismen (Fig. 193) ist von mir schon 1869 beschrieben und empfohlen worden. Dieselbe besteht aus einem rechtwinkligen Prisma *A*, welches mittelst Reflexion an seiner Hypotenusenfläche die von Zeichenfläche und Stift kommenden Strahlen *S* nach dem über das Ocular zu stehen kommenden zweiten gleichseitigen, unter einem Winkel von 27⁰ gegen das erstere geneigten Prisma *B* sendet, von dessen Vorderfläche dieselben zum zweiten Male zurückgeworfen und endlich parallel der Mikroskopachse nach oben gelenkt werden. Die Camera wird beim Gebrauche etwas geneigt und das Prisma *B* so gerichtet, dass seine vordere, durch die kreisrunde Oeffnung in dem Deckel des Kästchens *K* sichtbare Kante gerade die Austrittspupille des Mikroskopes halbirt und man das mikroskopische Bild wie das Bild von Zeichenfläche und Stift zugleich deutlich und scharf sieht. Diese Stellung wird dadurch möglich gemacht, dass das Kästchen mittelst des Stiftes *a* gehoben und gesenkt und in der Horizontalen gedreht, mittelst des Stiftes *b* vor- und rückwärts verschoben und beliebig geneigt werden kann. Das Papier kommt auf eine um etwa 18⁰ bis 24⁰ geneigte Fläche

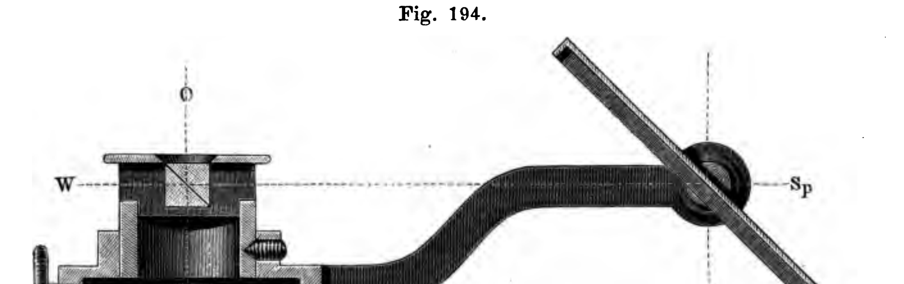
Fig. 193.



zu liegen, welche entweder seitlich oder nach vorn von dem Mikroskope aufgestellt werden kann. Diese Camera lässt bei voller Bildschärfe das ganze Sehfeld des Oculares übersehen, während die Bleistiftspitze vollkommen scharf erscheint, so dass auch feinere Einzelheiten selbst bei starken Vergrösserungen leicht nachgezeichnet werden können. Der Preis beträgt 21 Mark.

161 **Abbe's Camera lucida** (Fig. 194), welche in neuester Zeit von Zeiss angefertigt wird, übertrifft die voranstehende noch darin, dass bei deutlicher Sichtbarkeit des Zeichenstiftes und gleichmässiger Bildschärfe über das ganze Sehfeld des Oculares, auch beim Gebrauch der stärksten Objectivsysteme gar kein Lichtverlust im mikroskopischen Bilde auftritt und auf horizontaler Fläche gezeichnet werden kann. Die Einrichtung ist folgende: Ein in der mittelst des Schräubchens (links) auf dem Oculardeckel aufzuklemmenden und durch zwei weitere Schräubchen zu centrirenden Fassung befestigter kleiner Glaswürfel *W* (Fig. 194)

Fig. 194.



besteht aus zwei zusammengekitteten Prismen, deren eines eine versilberte Hypotenusenfläche mit in die Versilberung eingekratztem kreisrundem Loche besitzt, während der seitliche Arm in einer 70 mm betragenden Entfernung von der Mikroskopachse den drehbaren Spiegel *Sp* trägt. Die Fassung des Würfels *A* ist dabei so regulirt, dass das kleine Loch von selbst genau in die Ebene der Austrittspupille des Oculares Nr. 2 Zeiss' fällt, man also durch dasselbe das in keiner Weise gestörte mikroskopische Bild in voller Schärfe sieht, während die von dem Zeichenstift her reflectirten, durch eine vierseitige Oeffnung der Fassung auf den Würfel treffenden Strahlen in gleicher Richtung in das Auge (bei *O*) gelangen. Bei dem Gebrauche hat man nichts weiter zu thun, als den Spiegel so zu drehen, dass der Kreis des Sehfeldes dicht neben den Fuss des Mikroskopes projicirt wird. Trägt man noch Sorge für nahezu gleiche Beleuchtung von Sehfeld und Zeichenfläche, was durch zwei in neuester Zeit zwischen Würfel und Spiegel angebrachte drehbare Rauchglasplättchen verschiedener Schattirung leicht bewerkstelligt werden kann, so lassen

sich auch die feinsten Einzelheiten mit voller Genauigkeit nachzeichnen und ich kenne zur Zeit keinen Zeichenapparat, welcher dem genannten an Brauchbarkeit und Leichtigkeit der Behandlung gleichkäme. Vielleicht könnte man in der Beschränkung auf ein bestimmtes Ocular einen Mangel finden; allein dieser Mangel wird durch die übrigen Eigenschaften und namentlich auch dadurch ausgeglichen, dass der Apparat bei jedesmaligem Gebrauche ohne jede weitere Berichtigung sofort vollkommen functionirt.

In neuerer Zeit sind mehrere Zeichenapparate construirt worden, welche den Zweck haben, ausgedehnte anatomische Objecte bei sehr schwachen Vergrösserungen oder in natürlicher Grösse zu zeichnen. Von diesen haben sich diejenigen von Winkel, Dr. Hartnack und E. Boecker mehrfachen Beifall erworben, wir müssen indessen hier auf die Beschreibung dieser Vorrichtungen verzichten, da sie eben nur ganz bestimmten Zwecken dienen.

II. Mechanische Nebenapparate.

1. Apparate zur mikroskopischen Grössenbestimmung.

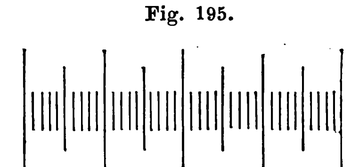
Für unsere Zwecke kommen nur die Glasmikrometer in Betracht welche für die grösste Mehrzahl mikrometrischer Messungen eine hinreichende Genauigkeit gewähren und nur für einzelne Zwecke durch die theuren Objectiv- und Ocularschraubenmikrometer ersetzt werden müssen.

Von solchen Glasmikrometern giebt es zwei Arten, indem dieselben eingerichtet sind, um entweder als Object zu dienen, oder um in das Ocular eingelegt zu werden.

162 **Objectmikrometer.** — Das Objectglasmikrometer dient im Allgemeinen mehr dazu, um die Vergrösserungszahlen der Mikroskope und den wahren Werth der Theilung der Ocularmikrometer zu bestimmen, als um auf directem Wege die wirkliche Grösse eines Gegenstandes zu ermitteln. Es ist vor allen Dingen nothwendig, dass dessen Theilung auf die allersorgfältigste Weise ausgeführt ist, und hat man sich vor seiner Anwendung jedenfalls hiervon zu überzeugen, und etwaige Fehler kennen zu lernen, um dieselben bei nachfolgendem Gebrauche durch angebrachte Correction ausschliessen zu können. Was die Theilung selbst betrifft, so ist das Millimeter als die am meisten geeignete Einheit zu wählen. In der Regel wird es vollständig genügen, wenn das letztere in 100 Theile getheilt ist, indem noch feinere Theilungen von z. B. $^1/_{400}$ mm kaum von Nutzen sein dürften. Bei der Ausführung der Scala ist vor

allen Dingen darauf zu sehen, dass die einzelnen Diamantstriche möglichst rein ausfallen und eine Dicke von etwa $^1/_{1500}$ mm nicht übersteigen, da dieselben sonst bei stärkeren Vergrösserungen nicht mehr als Linien gesehen werden, was für genaue Messung doch unbedingt nothwendig ist. Um bei der Zählung für das Auge die erforderlichen Anhaltspunkte zu gewinnen, und um Verwirrungen vorzubeugen, müssen je 10 und je 5 Theile durch einen längeren Strich ausgezeichnet werden, wie dies bei den gewöhnlichen Maassstäben im Gebrauch ist (Fig. 195, 0,4 mm, 100 mal vergrössert). In der Regel führen die Optiker ihre Objectglasmikrometer, welche zu 9 bis 12 Mark berechnet werden, auf runden Plättchen aus, geben denselben zum Schutze gegen Zerbrechen eine Messingfassung und bewahren sie mittelst eines Deckplättchens vor Schmutz. Es genügt jedoch, wenn die Theilung auf einem dünnen Deckglase ausgeführt und dieses — die Theilung nach unten — auf einer rechteckigen, reinen, vollkommen ebenen Glasplatte von etwa 20 mm Breite, 40 bis 50 mm Länge und 2 bis 3 mm Dicke aufgekittet wird, indem dieselbe dann hinreichend vor dem Zerbrechen gesichert ist.

Fig. 195.



Ocularmikrometer. — Das Ocularglasmikrometer bedarf **163** natürlich einer weit weniger feinen Theilung als das Objectmikrometer, und es genügt vollkommen, wenn 6 mm in 60 oder 10 mm in 100 Theile getheilt werden. Feinere Theilungen sind nicht allein überflüssig, sondern eher unbequem. Die einzelnen Striche müssen, damit sie mit Bestimmtheit und in der nöthigen Schärfe über dem Bilde des Gegenstandes gesehen werden können, weit stärker sein als bei dem Objectmikrometer, da sie nur 5- bis 20 mal vergrössert werden. Die Breite derselben darf aber auch wieder nicht ein gewisses Maass überschreiten, weil dadurch die Einstellung auf den Rand des Objectes erschwert und die Messung ungenau wird. Die Grenzen der Strichbreite werden etwa zwischen $^1/_{200}$ bis $^1/_{300}$ mm liegen müssen. Die Glasplatte muss hier kreisförmig sein und sollte die Dicke von 2 mm nicht überschreiten, dagegen auch nicht unter 1 mm herabgehen. Genauigkeit der Theilung, die aber hier weit leichter zu erreichen ist wie bei der vorigen Mikrometerart, bleibt unbedingtes Erforderniss, ebenso die Reinheit und Gleichmässigkeit der Theilstriche. In Bezug auf die Lage des Mikrometers im Ocular ist noch hervorzuheben, dass die Theilung stets dem Objecte zugewendet sein muss, um die doppelte Reflexion an der hinteren Fläche und damit die Verdoppelung der Theilstriche zu vermeiden.

Die Verbindung mit dem Oculare kann in verschiedener Weise ausgeführt werden. In mancher Beziehung bieten lose Mikrometer, welche einfach in das Ocular eingelegt werden, manche Annehmlichkeiten. Erstlich lassen sich dieselben leicht reinigen und dann bleibt man nicht auf

ein einzelnes — gewöhnlich schwaches — Ocular beschränkt, sondern kann auch — was z. B. bei Zählungen u. dergl. recht bequem ist — zu stärkeren Ocularen greifen. Fest mit dem Oculare verbundene Mikrometer sollten stets durch Verschraubung der Fassung zur Reinigung freigelegt werden können. Die neueren „Mikrometeroculare“, deren Preis zwischen 12 bis 15 Mark schwankt, werden meist in dieser Weise gefasst und die Ocularlinse ausserdem auf eine in der Ocularhülse verschiebbare Röhre aufgeschraubt, um die Theilung für verschiedene Augen genau einstellen zu können. Eine weitere zweckmässige Einrichtung dieses Apparates besteht darin, dass das Mikrometer selbst mittelst einer Schraube horizontal verschiebbar ist, um einen bestimmten Theilstrich mit dem Anfangspunkte der Messung im Bilde genau zusammenfallen lassen zu können.

Die Aufbewahrung von losen Mikrometerplättchen, welche man um den Preis von 4 bis 6 Mark erhält, in einem passenden, inwendig mit Sammet ausgekleidetem Etui schützt ausreichend vor grober Beschmutzung. Sollte sich aber trotzdem eine störende Bestaubung etc. einstellen, so lässt sich die Reinigung, wie ich mich überzeugt habe, auf ganz vorzügliche Weise durch die von Place (Ueber die Prüfung der Glasmikrometer etc. Berlin 1860) empfohlene Manipulation ausführen. Man übergiesst nämlich die Glasplatte oder vielmehr die Scala mit einigen Tropfen Collodium, bis diese Flüssigkeit etwa 1 mm hoch steht. Sobald sich dann der Aether vollkommen verflüchtigt hat, was nach 10 bis 15 Minuten der Fall ist, und die Collodiumdecke zu einem papierdünnen Häutchen zusammengetrocknet erscheint, lässt sich dieselbe leicht am Rande mittelst eines feinen Messerchens loslösen und springt hierauf von selbst ab, oder kann mittelst der Pincette abgezogen werden. Die Theilung tritt nach dieser Operation mit voller Klarheit hervor und erleidet auch durch öftere Reinigung nicht den mindesten Schaden, was allerdings bei anderen Reinigungsmethoden mittelst Reibens etc. der Fall ist.

164 **Goniometer.** — Das Goniometer findet nur eine beschränkte Anwendung bei den histologischen und physiologisch-chemischen Untersuchungen, um die Winkel mikroskopischer Krystalle zu messen. Selbst hier kann es aber in der Regel entbehrt werden, wenn man sich auf andere Weise über die betreffende chemische Verbindung die nothwendigen Aufschlüsse zu verschaffen im Stande ist. Ausserdem wird man bei der mikroskopischen Winkelmessung in den meisten Fällen nur selten zu einer solchen Sicherheit gelangen können, wie dies bei anderen derartigen Messungen der Fall ist, indem es nicht möglich ist, polyëdrische Krystalle mit ihren geneigten Flächen immer in diejenige Lage zu bringen, die zur sicheren Winkelbestimmung erfordert wird. Dies wird nur bei dünnen und ebenen Plättchen und für eine Lage derselben gelingen, und daher auch nur bei solchen mit genügender Sicherheit der betreffende

Winkel bestimmt werden können. Aus diesen Gründen werde ich mich hier denn auch auf das Zeiss'sche Goniometerocular beschränken, das mir für unsere Zwecke ausreichend erscheint. Dasselbe besteht aus einem Theilkreise, welcher mittelst dreier Schräubchen auf dem Mikroskoprohre festgeklemmt und centrirt werden kann, und einem in dessen Hülse sich drehenden Oculare mit Glasplatte, die ein mittelst der verschiebbaren Augenlinse einzustellendes System paralleler Linien eingravirt hat. Zur Messung eines Winkels hat man zunächst das Liniensystem parallel zu dem einen seiner Schenkel zu stellen, mittelst des an dem Ocular befindlichen Zeigers die entsprechende Gradzahl abzulesen, dann weiter zu drehen, bis das Liniensystem zum zweiten Schenkel parallel wird, und die zweite Ablesung vorzunehmen. Der Unterschied der beiden Ablesungen giebt nun die Drehungsgrösse in Graden und damit die Grösse des Winkels an. Da das Liniensystem die Parallelstellung mit den betreffenden Krystallkanten leicht und sicher auszuführen gestattet, so fällt die Messung mittelst dieses einfachen und verhältnissmässig billigen (der Preis beträgt 30 Mark und der Theilkreis kann ausserdem auch für den Analysator des Polarisationsapparates verwendet werden) Apparates für die meisten Zwecke hinreichend genau aus.

165 **Der bewegliche Objecttisch.** — Der bewegliche Objecttisch, welcher sich vorzugsweise zur genauen Einstellung für bestimmte Messungsmethoden, bei Zählungen etc. als zweckdienlich erweist, jedoch auch in manchen anderen Fällen, z. B. bei Durchsuchung aus Einzelindividuen bestehender oder sehr ausgedehnter Präparate eine nicht zu gering anzuschlagende Bequemlichkeit besitzt, wurde schon frühzeitig und zwar im vorigen Jahrhundert angewendet. Manche Instrumente von Fraunhofer und Amici besitzen gleichfalls einen nach zwei rechtwinklig auf einander stehenden Richtungen beweglichen Objecttisch, Oberhäuser fügte seinen grösseren Instrumenten auf Wunsch einen solchen zu, während Nachet seine grossen Instrumente schon vor langen Jahren mit dem „Tyrell'schen Schlitten" versah und in England und Amerika die gedachte Bewegung keinem grösseren und mittleren Instrumente fehlte.

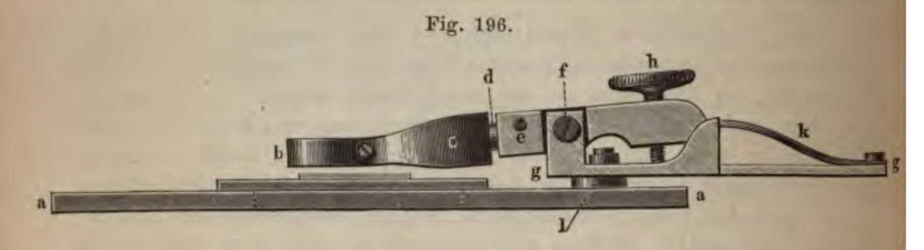
In Deutschland hat der Apparat, da er in der That für die grössere Anzahl wissenschaftlicher Arbeiten entbehrlich ist und in seinen billigeren Formen eine ziemlich werthlose, bei vollkommener Construction aber eine nicht gerade wohlfeile Zugabe bildet, bis zur neueren Zeit und mit Ausnahme des älteren grösseren Schieck'schen Statives wenig Eingang gefunden. Erst in den letzteren Jahren wird derselbe in verschiedenen nach Belieben mit dem Stative zu verbindenden Formen von einigen optischen Werkstätten angefertigt und in wissenschaftlich brauchbarer Ausführung zu Preisen von 50 bis über 100 Mark berechnet.

2. Vorrichtungen zur Anwendung von Druck, Wärme, elektrischen Strömen etc.

166 **Der mikrotomische Quetscher oder das Compressorium.** — Der mikrotomische Quetscher dient dazu, um zarte Objecte, deren innere Structur nur dann in genügender Weise aufgehellt werden kann, wenn sie durch allmälige Quetschung ausgedehnt und somit durchsichtiger gemacht werden, einem allseitig gleichmässig wirkenden, in beliebigem Grade allmälig gesteigerten Drucke auszusetzen. Derselbe wird von sämmtlichen optischen Werkstätten in bald einfacherer, bald zusammengesetzterer Ausführung geliefert und beschränken wir uns hier auf die Beschreibung einer der einfacheren Constructionsformen.

Eine solche, zugleich recht zweckmässige Vorrichtung ist der nach den Angaben Schacht's von Zeiss in Jena ausgeführte Quetscher, Fig. 196, welcher um den Preis von 18 Mark in sauberem Etui geliefert

Fig. 196.



wird. Derselbe zeichnet sich namentlich dadurch aus, dass man ihn auf das Object anwenden kann, wie man es vorher zur Beobachtung aufgelegt hatte, also dieses nicht erst auf eine besondere Objecttafel und unter besonderes Deckglas zu bringen braucht. Er besteht aus der vierseitigen, in der Mitte mit einer grossen runden Oeffnung versehenen, den Objectträger aufnehmenden Messingplatte *a a*, und dem nach der Innenseite sich conisch verjüngenden, centrisch durchbohrten Messingring *b*, von dem der Druck auf das Deckgläschen ausgeübt wird. Letzterer hängt zwischen zwei in dessen Durchmesser sich gegenüberstehenden Stiften in dem Bügel *c*, der sich vermittelst des in dem Hebel *ee* steckenden Zapfens *d* um seine horizontale Achse drehen kann, so dass ihm eine möglichst allseitige Beweglichkeit gesichert ist, und seine ebene Unterfläche unter allen Umständen der Oberfläche des Deckglases parallel bleibt. Der Hebel *ee* dreht sich bei *f* auf dem in horizontaler Lage festgehaltenen Lager *gg* und wird durch die schief stehende in diesem sich drehende Schraube *h* am hinteren Ende gesenkt und mittelst der starken stählernen Feder *k* beim Zurückdrehen jener

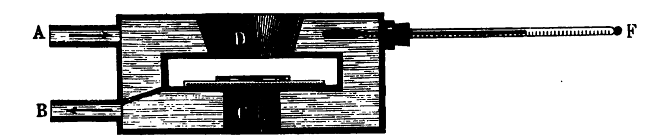
gehoben. Wird die Schraube *h* gelockert, so drückt der Ring gegen die Deckplatte, und umgekehrt entfernt er sich von derselben, sobald man die erstere anzieht. Der ganze obere Theil der Vorrichtung dreht sich ausserdem in horizontaler Ebene um den in der Platte *aa* feststehenden Stift *l* und kann somit leicht über dem Object zur Seite gedreht werden.

Aehnliche Vorrichtungen sind auch von Schieck, Wasserlein, Winkel, Schmidt & Haensch u. A. construirt worden und werden zu 12 bis 15 Mark berechnet.

167 **Der heizbare Objecttisch.** — Schon ziemlich früh ist das Bedürfniss erkannt worden, manche mikroskopische Objecte während der Beobachtung einer erhöhten Temperatur auszusetzen und wurden mancherlei ihrem Zwecke indessen wenig genügende Vorrichtungen in dieser Absicht verwendet. Max Schultze erst ist es gelungen, eine Vorrichtung zu construiren, welche gestattet, das Object während der Beobachtung jeder beliebigen, messbaren, sowohl zu- und abnehmenden, als auf einem bestimmten Grade zu erhaltenden Temperatur auszusetzen. Diese Vorrichtung, von ihrem Erfinder „heizbarer Objecttisch" genannt, ist dazu bestimmt, auf den Objecttisch des Mikroskopes aufgelegt zu werden, welcher dadurch um etwa 10 mm erhöht wird. Da indessen der Apparat in seiner ursprünglichen Gestalt an dem Uebelstande leidet, dass das Object durch die mit dem Tubus in Verbindung stehende Fassung des benutzten Objectivsystemes eine um so merkbarere Abkühlung erfährt, als die Brennweite sich verkürzt und auch gerade nicht sehr handlich ist, so hat derselbe mehrfache Abänderungen erfahren, von denen der Ranvier'sche und Senarmont'sche heizbare Objecttisch sich am meisten empfehlen dürfte.

Der erstere (Fig. 197) besteht aus einem viereckigen Doppelkasten *AB*, in dessen frei gelassenen Hohlraum das Präparat eingelegt werden kann,

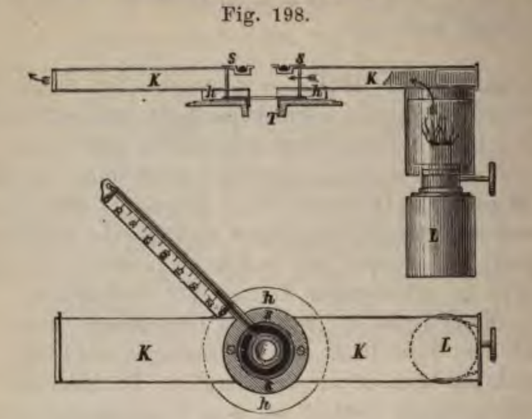
Fig. 197.



während in die in Boden- und Deckplatte befindlichen runden Oeffnungen *D* und *C* Diaphragmen und Objectivsysteme eingeführt werden können. Die Erwärmung geschieht mittelst durch eine Spirituslampe erwärmten Wassers, welches durch die Röhre bei *A* zuströmt, durch die untere bei *B* in abgekühltem Zustande in das Erwärmungsgefäss abgeführt wird. Das Thermometer *T* ist an der Seite des Kastens eingelassen, und damit die Temperatur des Objectes constant bleibt, wird der Zwischenraum zwischen der Fassung des Objectivsystemes und der

Wand der Oeffnung *D* mit Watte ausgestopft. Der andere (Fig. 198), welcher von R. Fuess in Berlin geliefert wird, bildet ein Parallelepiped *K* aus dünnem Blech, welches an dem einen Ende offen ist, am anderen, geschlossenen auf einem kreisförmigen Ausschnitte *E* der Bodenfläche einen von einer Glimmerplatte umspannten, walzenförmigen Ansatz besitzt, unter den eine Spirituslampe gesetzt wird. Auf der Mitte

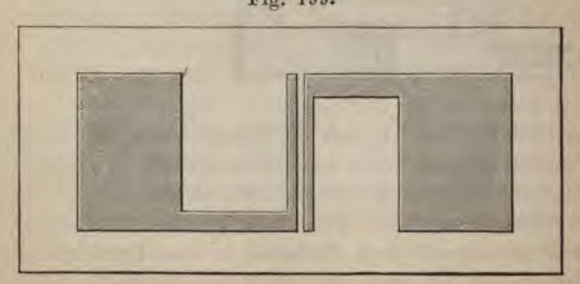
Fig. 198.



des Blechkastens ist eine Platte *s* mit centraler kreisförmiger Oeffnung und ringförmiger das ebenso gestaltete auf einem seitlichen Fortsatze ruhende Thermometer aufnehmender Vertiefung aufgesetzt. Die durch die in dem Fortsatze eingeführte Flamme erwärmte Luft des Metallkastens erwärmt die Platte *s* und damit gleichzeitig Object und Thermometer, während die Ableitung auf dem Mikroskoptische durch Auflegen eines Ringes *h* von Hartgummi unter die durchbohrte Mitte des Apparates verhindert wird.

168 **Der elektrische Objectträger.** — Nicht weniger wichtig als die erhöhte Temperatur ist die Anwendung elektrischer Ströme* auf manche

Fig. 199.



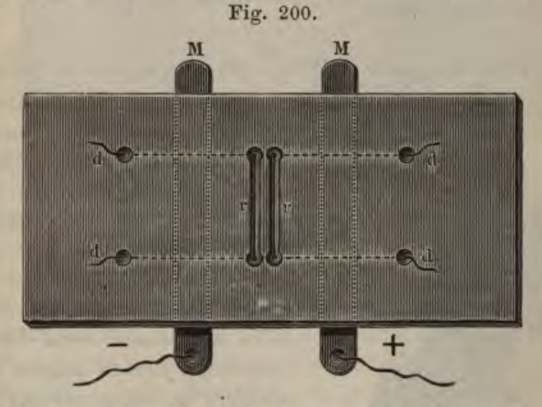
mikroskopische Objecte. Namentlich hat dieses physikalische Reagens in der neuesten Zeit eine hohe, wenn auch hier und da überschätzte

Bedeutung gewonnen, und es wird wohl kaum einen Mikroskopiker geben, der, sich mit der feineren Histologie der Pflanzen und Thiere beschäftigend, dessen Anwendung versäumen dürfte.

Früher haben sich — da die älteren Apparate, wie der Plössl'sche Entlader, für histologische Untersuchungen nicht geeignet waren — manche Mikroskopiker mit höchst einfachen Vorrichtungen beholfen. So kittete Schacht einfach zwei unter das Deckglas reichende Platindrähte auf den Objectträger und verband sie mit den Poldrähten des elektrischen Apparates. Kühne befestigte zwei in der nebengezeichneten (Fig. 199) Weise geformte Platinbleche mittelst Siegellacks auf den Objectträger und beschwerte dieselben mit Bleiklötzchen, die mittelst feiner geglühter und schraubenförmig gewundener Eisendrahtstücke mit den Poldrähten verbunden wurden. Andere nahmen Objectträger aus Spiegelglas und entfernten den Metallbeleg in der Mitte bis auf zwei schmale sich gegenüberstehende Streifen etc. Alle diese Behelfsvorrichtungen lassen den Beobachter aber immer mehr oder weniger empfindlich im Stiche, und machen demselben handliche, vollkommen dem Zwecke entsprechende Apparate wünschenswerth. Solche sind denn auch in verschiedener Form von Harting, Brücke u. A. ersonnen und construirt worden, je nachdem der eine Forscher die eine, der andere wieder andere Eigenschaften bevorzugte.

Unter diesen ist der elektrische Objectträger von Jendrássik und Mezey (Fig. 200) einfach und handlich und dürfte wohl weitere

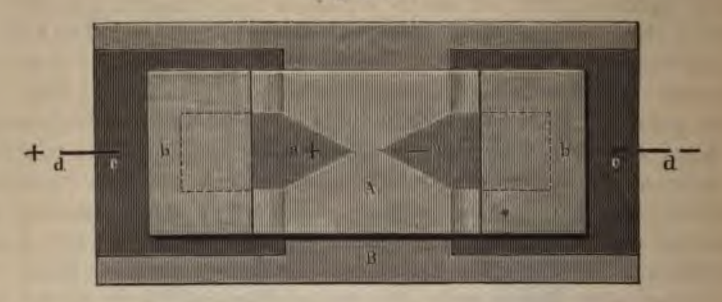
Fig. 200.



Verbreitung finden. Derselbe besteht aus einem Objectträger, welcher in der Mitte seiner Längsachse zwei 3 bis 3,5 mm von einander entfernte Rinnen *rr* eingeschliffen erhält. An den Enden dieser Rinnen sowie zu beiden Seiten des Objectträgers sind kleine Löcher eingebohrt und durch diese in der in der Figur angedeuteten Weise erstere ganz ausfüllende Platindrähte *dddd* gezogen, welche zwei auf der Unterseite des Objectträgers befindliche, mit den Poldrähten in Verbindung stehende Metallstreifen *MM* berühren.

In neuester Zeit hat auch O. Stroebel eine recht zweckmässige, einfache und für die meisten Zwecke wohl ausreichende Vorrichtung (Fig. 201) vorgeschlagen. Dieselbe besteht aus einem Objectträger *A* (derselbe kann von beliebigem Format sein), an dessen beiden Enden

Fig. 201.



auf Ober- und Unterseite gleichweit übergreifende Kappen-Stanniolplättchen *bb* aufgesteckt werden, unter die man zwei mit schmäleren oder breiteren Spitzen versehene bewegliche Stanniolstreifen *aa* einschaltet. Der so hergerichtete Objectträger kommt auf eine grössere Glasplatte *B* so zu liegen, dass die Stanniolkappen mit den auf diese Platte geklebten Stanniolplättchen *cc* in Berührung sind, welche ihrerseits durch die daran befestigten Kupferdrähte *dd* mit der Elektricitätsquelle in Verbindung stehen.

169 **Die feuchte Kammer und die Gaskammer.** — Die feuchte Kammer, welche die Verdunstung der Zusatzflüssigkeiten zu verhindern bestimmt ist und für eine grosse Anzahl — namentlich auch entwickelungsgeschichtlicher — Untersuchungen ein wichtiges und unentbehrliches Hülfsmittel bildet, wurde von Recklingshausen erdacht und zuerst angewendet. In ihrer ursprünglichen Gestalt besteht dieselbe aus einem etwa 50 mm weiten Glasringe, dessen unterer Rand abgeschliffen ist, um genau auf dem Objectträger aufzusitzen. Ueber den Glasring ist ein weites Kautschukrohr festgebunden, dessen oberer Theil über die Mikroskopröhre gezogen und an dieser mittelst einer Gummischnur festgehalten wird. Als Objectträger, welchem der geschliffene Rand des Glasringes aufsitzt, dient eine etwa 70 mm lange und 60 mm breite Platte aus geschliffenem Glase. In etwas

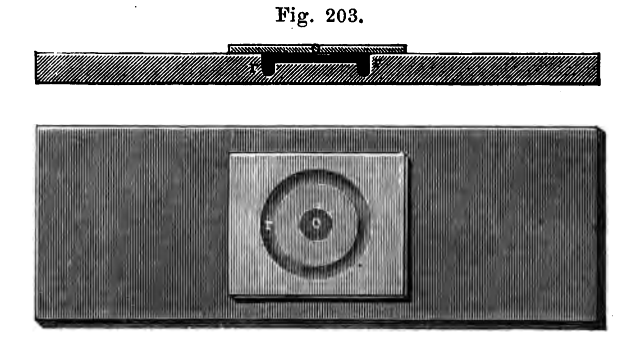
Fig. 202.



einfacherer Gestalt (Fig. 202) kann man sich nach Prof. M. Schultze die feuchte Kammer aus dem abgesprengten unteren Theile eines Lampencylinders herstellen. Der Rand des weiteren Theiles wird dann abgeschliffen und den oberen engeren Theil füttert man zweckmässig mit Tuch oder weichem Leder aus, damit er sich dem Rohre des Mikroskopes möglichst anschliesst, ohne dessen senkrechte Bewegung zu hindern oder derselben zu folgen. Obwohl diese letztere Einrichtung der feuchten Kammer an Beweglichkeit etwas eingebüsst hat, so hindert sie doch die Verschiebung des Objectes nicht wesentlich; sie bietet aber den Vortheil, dass man einen freien Einblick in das Innere der Vorrichtung hat. Um den inneren Raum fortdauernd mit Wasserdunst erfüllt zu halten, legt man an der inneren Fläche des Ringes oder des Cylinders einen ungefähr drei Viertheile des Umfanges einnehmenden Streifen Fliesspapier, den man mit Wasser benetzt hat.

Die ursprüngliche Form der feuchten Kammer ist im Laufe der Jahre mehrfach abgeändert und namentlich für kleinere unter starken

Fig. 203.



Vergrösserungen zu beobachtende Objecte in höchst zweckmässiger Weise vereinfacht worden. Eine recht zweckmässige derartige Vorrichtung (Fig. 203), welche von den Handlungen mikroskopischer Utensilien fast allgemein geliefert wird, besteht aus einem dicken Objectträger, welcher eine runde oder vierseitige Vertiefung und an deren Umfang eine schmale Rinne *rr* eingeschliffen hat. Letztere wird mit Wasser gefüllt, während das an dem Deckglase in einem Wassertropfen befindliche Präparat *o* in den mittleren Hohlraum zu liegen kommt. In noch einfacherer Weise kann man sich zu jeder Zeit eine feuchte Kammer dadurch herstellen, dass man vierseitige oder runde Stückchen ungeleimter Pappe oder dicken Cartons (Löschcarton) mittelst eines Durchschlages mit einer passenden mittleren Oeffnung versieht Legt man derartige Pappstückchen, nachdem sie hinreichend angefeuchtet worden sind, auf einen Objectträger und hängt das Präparat unter vorsichtigem Aufdrücken des Deckglases in der beschriebenen Weise in dem Hohlraume auf, so erhält sich die feuchte Atmosphäre, namentlich wenn man die Pappe von Zeit zu Zeit von aussen benetzt, tagelang unverändert.

170 Die Gaskammer tritt wie die vorbeschriebene unter verschiedenen Gestalten auf. Im Wesentlichen besteht sie, wie z. B. die Strecker'sche Gaskammer (Fig. 204), aus einem aus Metall oder Glas gebildeten, um eine für die Einführung des Gases bestimmte Rinne A hergestellten luft-

Fig. 204.



dichten Hohlraum D mit je einer (oder zwei) Zuleitungs- und einer Ableitungsröhre B und C, von welchen die erstere mit einem das entsprechende Gas erzeugenden Apparate oder einem Gasometer in Verbindung gebracht werden kann.

Zweites Kapitel.

Apparate und Hülfsmittel zur Herstellung der mikroskopischen Präparate.

I. Instrumente und Apparate.

1. Instrumente zum Schneiden, Schleifen u. s. w.

Da es sich bei der vorbereitenden Präparation hauptsächlich um die Darstellung sehr feiner Durchschnitte handelt, so nehmen unter den hierher gehörigen Apparaten die schneidenden Instrumente den ersten Platz ein.

171 **Rasirmesser und deren Instandhaltung** [1]). — Die mannigfachste Benutzung sowie die sicherste Handhabung unter allen schneidenden

[1]) Ganz vorzügliche Rasirmesser erhält man bei Gebrüder Dittmar in Heilbronn; namentlich sind die mit aus sogenanntem „India Steel“ verfertigten Klingen versehenen Sorten zu Mk. 3,50 und Mk. 4,50 zu empfehlen. Auch die Dittmar'schen Streichriemen haben sich sehr gut bewährt.

Instrumenten gestatten die Rasirmesser, weshalb der Mikroskopiker mit einem passenden Vorrath derselben versehen sein muss. Man sollte deren immer einige von verschiedener Beschaffenheit besitzen, denn während sich zur Darstellung feiner Schnitte aus thierischen Geweben sowie aus grosszelligen saftigen Pflanzentheilen nur solche mit leichter hohl geschliffener Klinge eignen, kann man für Hölzer, Samenschalen und dergleichen härtere Gegenstände keine anderen als solche mit schwererer, möglichst ebener, nicht zu dünner Klinge gebrauchen. Da nun nicht jede Klinge den passenden Härtegrad besitzt, den ihre Verwendung zu unseren Zwecken erheischt, so muss man eben unter einer grösseren Anzahl von Messern die geeigneten sich auswählen, was gerade nicht immer leicht ist und nicht unbedeutende erste Anschaffungskosten erheischt. Wo man daher Gelegenheit hat, da verschaffe man sich alte, von den Barbierern zurückgelegte Messer, unter denen man ein und das andere passende aussuchen und um mässigen Preis erstehen kann.

Die Hauptsache bleibt für die Folge die, dass man sein Rasirmesser, wenn es einmal passend gewählt ist, in gutem Zustande und bei scharfer Schneide erhält, was man immer selber zu besorgen haben wird, da der Schleifer namentlich in Beziehung auf die Politur der letzteren den Mikroskopiker nie so recht befriedigen kann. Ganz stumpfe, dickschneidige oder gar schartig gewordene Messer muss man sich allerdings erst von dem Messerschmied oder Instrumentenmacher schleifen lassen, um hierauf zur Herstellung einer tadellosen Schneide zu schreiten.

Zur Erzielung einer guten, hinreichend ebenen und vollkommen polirten Schneide gehört aber eine gewisse Fertigkeit, sowie die Beobachtung mancher Vorsichtsmaassregeln, weshalb es nicht am unrechten Platze sein dürfte, diesen Punkt hier etwas eingehender zu behandeln.

Zunächst bearbeitet man seine Klinge auf dem Abziehesteine, indem man von einem etwas gröberen zu einem feineren übergeht. Zu dem ersten Schleifen sind die weissen französischen Steine mit etwas gröberem Korn sehr geeignet, während zu dem feinsten Schliffe die grauen oder blauen Wassersteine benutzt werden müssen. Zur Benetzung der Steine nehme man Wasser, niemals Oel, denn wenn man mittelst des letzteren eine feinere Schneide zu erlangen glaubt, so beruht dies lediglich auf Vorurtheil. Ferner sehe man darauf, dass der Schleifstein immer eine vollständig ebene Fläche bildet. Ist derselbe durch längeren Gebrauch in der Mitte etwas hohl geworden, so lasse man sich denselben, wo man Gelegenheit dazu hat, wieder ebenen, oder thue dies selbst auf einer ebenen gusseisernen Platte, wobei man als Schleifmittel zuerst Silbersand und dann fein geschlämmten Tripel anwendet.

Beim Schleifen selbst halte man das Messer stets ganz flach, d. h. so, dass Rücken und Schneide gleichzeitig den Stein berühren, und ziehe es mit der Schneide voran und unter stetem Wechseln der Seiten auf dem Steine hin und her. Während der ersten Arbeit darf man einen mässigen Druck ausüben, später aber muss man denselben möglichst vermeiden;

ferner achte man darauf, dass das Messer in entsprechender diagonaler Richtung, das Heft stets voran, über den Stein geführt wird, weil dadurch die Schneide weit gleichmässiger ausfällt. Hat man auf diese Weise eine scharfe Schneide hervorgebracht, so schreitet man zu der eigentlichen Politur derselben, um die kleinen, wie man sich mittelst des Betrachtens durch die Lupe überzeugen kann, stets noch vorhandenen Scharten zu beseitigen, welche auf den Schnitt immer insofern nachtheilig wirken, als sie auf ihm Streifen hervorrufen, die bei der Beobachtung mancherlei Störungen und Täuschungen bewirken können. Zur Politur eignet sich kein Verfahren besser, als das von Hugo v. Mohl empfohlene. Auf eine matt und eben geschliffene Spiegelplatte, etwa von der Grösse der Abziehsteine, streiche man mit Wasser zu einem dicken Rahme angerührten Wiener Kalk, und führe darauf, in ähnlicher Weise wie beim Abziehen, aber in kreisförmigen Zügen das Messer hin und her. Durch in kürzeren Pausen wiederholtes Betrachten der Schneide überzeugt man sich von dem Fortschritte der Arbeit. Als vollendet kann man dieselbe betrachten, wenn die Schneide unter der Lupe eine ununterbrochene glänzende Linie bildet.

Will man nach dieser Behandlung noch etwas Weiteres thun, so kann man das Messer auch noch einige Male, den Rücken der Klinge voran und in diagonaler Richtung, über den Streichriemen führen. Der letztere ist ausserdem unentbehrlich, um nach kürzerem Gebrauche der Schneide des Messers wieder eine untadelhafte Politur zu geben. Da diese schon nach wenigen Schnitten, namentlich bei härteren Gegenständen, immer etwas verliert, so sollte man es sich zur Regel machen, schon nach kurzem Gebrauche des Messers den Streichriemen wieder in Anwendung zu bringen.

Als Streichriemen eignet sich am besten ein weiches Leder, welches mit der Haarseite nach oben auf eine passend gepolsterte Unterlage von Holz befestigt ist, und welches man mit einer Mischung von feinem geschlämmtem Eisenoxyd (Englischroth) und Fett, am besten Olivenöl, bestreicht. Da indessen das im Handel vorkommende Eisenoxyd lange nicht fein genug ist, so thut man am besten, sich dasselbe eigenhändig zu bereiten. Vortrefflich ist das nach der von C. Gerstenberger neuerdings empfohlenen Vogel'schen Vorschrift dargestellte Eisenoxyd, weshalb ich dieselbe hier wiedergebe. „Man löst schwefelsaures Eisenoxyd in heissem Wasser und schlägt die reine, filtrirte Lösung mit einer concentrirten Lösung von Oxalsäure nieder. Der gelbe Niederschlag wird abfiltrirt, auf dem Filter getrocknet und in einem Löffel oder Tiegel von Eisen stark ausgeglüht. Die Oxalsäure zerfällt dabei in Kohlenoxyd und Kohlensäure, welche verfliegen, das Eisenoxyd aber bleibt in einer Feinheit zurück, wie man es auf anderem Wege schwer erhalten wird.“

172 **Scalpelle.** — Für einzelne Fälle, namentlich zur Anfertigung von Schnitten thierischer Gewebe, leistet neben dem Rasirmesser das Scalpell

ebenfalls recht gute Dienste. Zweckmässig hat man von demselben mehrere mit verschieden geformten Klingen. Als sehr brauchbar für feine oberflächliche Schnittchen weicher thierischer Gewebe empfiehlt Harting ein lancettförmiges, gebogenes Messerchen (Fig. 205 A, B, C), dessen Klinge auf der hohlen Seite ganz eben, auf der erhabenen dagegen in der Mitte verdickt ist.

Fig. 205.

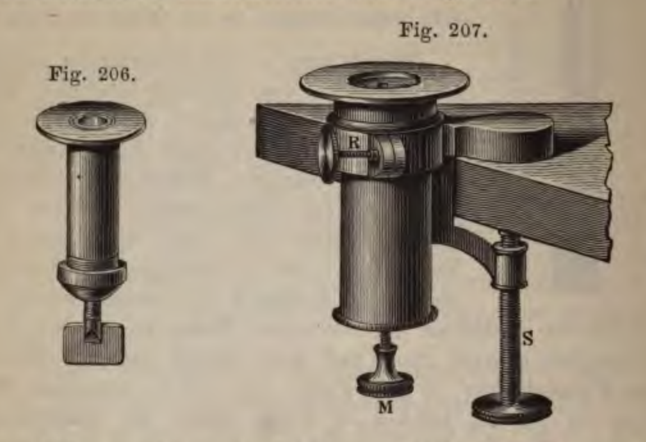
A B C

173 **Mikrotome.** — Zur Anfertigung sehr dünner Durchschnitte von härteren Geweben, Pflanzenstengeln, Holzstückchen u. dergl., hat man schon seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts eigene, unter dem Namen „Mikrotome“ bekannte Instrumente construirt, welche indessen bei den bis vor kurzer Zeit noch wenig ausgebildeten Erhärtungs- und Einbettungsmethoden nur vereinzelt in Gebrauch genommen wurden. Seitdem jedoch die erwähnten vorbereitenden Methoden zu einer grösseren Vollkommenheit gelangt sind, und man gelernt hat, das Protoplasma und die Plasmakörper in der Form, wie sie in lebendem Zustande auftreten, zu fixiren, seitdem in Folge dessen die Anfertigung von Schnitten aus ganz frischem Material mehr und mehr in den Hintergrund getreten ist, hat das Mikrotom an Bedeutung gewonnen und ist namentlich für alle solche Untersuchungen, die ununterbrochene Folgen von gleichdicken Schnitten ohne sehr grosse Dünne erfordern (für alle Untersuchungen von feinerem Detail sind Schnitte aus freier Hand immer noch vorzuziehen), zu einem unentbehrlichen Hülfsmittel der Forschung geworden. Man hat im Verlauf der Jahre eine grosse Anzahl von Formen dieser Schneideapparate (von denen wir nur einige typische näher betrachten können) hergestellt, welche im Wesentlichen zwei Grundformen nachgebildet sind und zwar einerseits dem Oschatz'schen Mikrotom mit Hebung des Objectes durch Mikrometerschraube und freier Führung des Messers, andererseits dem Rivet'schen Mikrotom mit Hebung des Objectes durch Verschiebung auf schiefer Ebene und Feststellung des Messers in gleicher Höhe. Zu ersteren gehören unter anderen die Mikrotome von Welcker, Ranvier, Beetz, Schiefferdecker, Gudden, zu letzteren diejenigen von Brandt, Leyser, Weigert, Long, Fritsch, Spengel und Thoma (Jung), während das Zeiss'sche, Boecker'sche und Reichert'sche grosse Mikrotom eine Verbindung beider Constructionstypen vorstellen.

Das Ranvier'sche Mikrotom, eines der zweckmässigeren der ersten Grundform, hat durch Gudden und Loewe einige wesentliche Verbesserungen erfahren. In seiner einfacheren Gestalt (Fig. 206, a. f. S.) wird es mit der linken Hand festgehalten und das Messer, indem es an der oberen Platte Führung nimmt, mit der rechten frei geführt. Loewe

hat demselben einen Halter (Fig. 207) mit einem den Hals des Mikrotomcylinders umfassenden abnehmbaren Klemmring *R* und einer diesem gegenüberstehenden Schraubenzwinge *S* hinzugefügt, um dasselbe an dem Arbeitstische festzuschrauben und beide Hände frei zu bekommen. Das Object wird in einen inneren mit Boden versehenen Cylinder eingebettet und dieser mittelst der Mikrometerschraube *M* gehoben.

Fig. 206. Fig. 207.



Dieses Mikrotom kann natürlich in verschiedenen Grössen ausgeführt werden. Reichert in Wien verzeichnet deren drei mit 20, 30 und 40 mm weitem innerem Cylinder zu den Preisen von 20, 24 und 28 Mark, den Halter zu 10 Mark, während Thamm in Berlin, Katsch in Berlin und Rainer in Wien dasselbe mit Halter zu 45, 55 und 75 Mark berechnen.

Fig. 208.

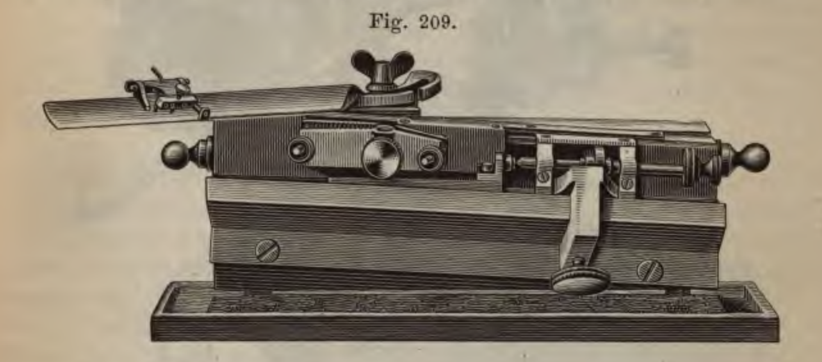


Das Rivet'sche Mikrotom (Fig. 208) besteht in seiner neueren nach Angaben von Prof. Kossmann und Dr. Brandt in Messing und Hartguss ausgeführten Form (Preis 48 Mark) aus einem 200 mm langen, 60 mm hohen und ebenso breiten Klotze, zu dessen beiden Seiten sich zwei parallel verlaufende keilförmige Ausschnitte befinden, so dass die Breite des oberen mittleren Theiles noch 13 mm beträgt. Der vordere Ausschnitt in der Figur bildet eine schiefe Ebene von 1 : 10 Steigung,

der hintere verläuft horizontal, während links auf dem mittleren Theile des Klotzes eine mit der schiefen Ebene parallel verlaufende Scala von 200 mm Länge angebracht ist, so dass jeder Theilstrich eine Steigung von 0,05 mm anzeigt. In diesem Ausschnitt kann nun ein genau eingepasster mit einem Querschnitt als Index versehener Metallkeil verschoben werden, an welchem eine mit einer Spiralfeder und den Druck regulirenden Schraube (in der Figur nicht gezeichnet) versehene Klammer angebracht ist, um in derselben das Object einzuzwängen. In dem hinteren, horizontalen Ausschnitt wird ein dicker, die Mittelleiste des Klotzes um die Dicke des Messerrückens überragender Keil hin- und hergeschoben, welcher oben eine Stellschraube besitzt, mittelst welcher der starke geschlitzte Stiel des Messers in für das Schneiden günstigster Lage unverrückbar festgeschraubt werden kann.

Das Schneiden geschieht, nachdem man das Object, je nach der gewünschten Dicke, auf einen ganzen oder zwischen zwei entsprechende

Fig. 209.



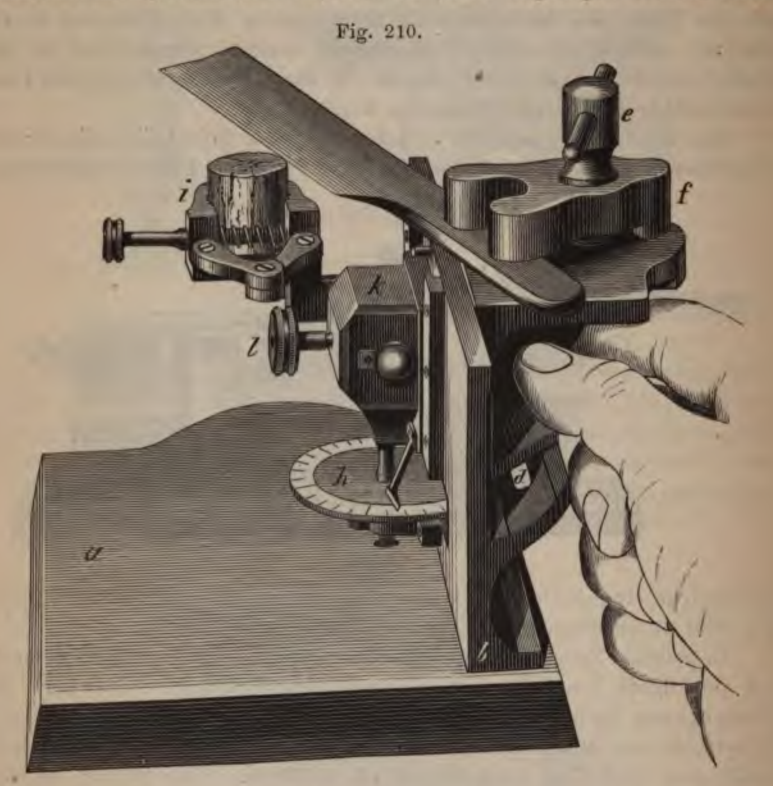
Theilstriche eingestellt hat, dadurch, dass man den das Messer tragenden Keil durch einen kurzen Zug nach sich hinführt.

In neuester Zeit hat dieses Mikrotom durch Long, Spengel namentlich aber durch Prof. Thoma mehrfache Verbesserung in Bezug auf die Beweglichkeit u. s. w. des Objecthalters, sowie auf die Führung des Objectschlittens und -Messers erhalten, welche dessen Brauchbarkeit, damit aber auch den Preis bedeutend erhöhten. Der letztere beträgt (sammt Messer) mit Mikrometerschraube zur Bewegung des Objectschlittens für das Spengel'sche Mikrotom (Wichmann in Hamburg) 152 bis 156 Mark, ohne diese 75 bis 79 Mark, für das Thoma'sche höchst vollkommene Instrument (R. Jung in Heidelberg, Fig. 209) für drei verschiedene Grössen mit Mikrometerschraube 185, 130, 85 ohne dieselbe 155, 100, 60 Mark.

Das grosse Mikrotom von Dr. Zeiss (Fig. 210, a. f. S.). — Dieses Mikrotom, welches seit Anfang 1880 geliefert wurde, hat in der letzten Zeit mehrere Veränderungen erfahren, die zugleich wesentliche Verbesserungen

darstellen, so dass es in seiner neuesten Gestalt allen Anforderungen zu genügen im Stande sein dürfte. Auf der grossen, gusseisernen Fussplatte *a*, welche auf Wunsch mit Blei ausgegossen geliefert wird, erhebt sich die darauf festgeschraubte starke Messingplatte *b*, welche rechts die gehobelte, mit einem Schlitze *d* versehene horizontale Schiene trägt, auf welcher sich der mittelst einer Kopfschraube vor dem Herabgleiten gesicherte Messerschlitten bewegt. Die Befestigung des Messers, dessen Stiel mit der Schneide einen sehr stumpfen Winkel bildet und das mit Rücksicht darauf construirt ist, dass es leicht abgezogen werden kann,

Fig. 210.



wird auf dem Träger mittelst der verstellbaren Klaue *f* und der Schraube *e* befestigt und es ist durch unterhalb der Klaue an dem Schlitten befestigte Stellschrauben die Klinge gegen die Schnittfläche in der gewünschten Weise neigbar. An der linken Seite der Platte *b* befindet sich der in zwei senkrechten Schienen laufende Höhenschlitten, an welchem der die Klammer *i* tragende Klotz *k* derart befestigt ist, dass er und damit auch die Klammer mittelst zweier zu einander senkrechter, einzeln durch Schrauben feststellbarer Zapfen in gleicher Weise in zwei zu einander senkrechten Richtungen geneigt werden kann, wie bei dem

Spengel'schen Mikrotome. Die Bewegung des Höhenschlittens wird durch die Mikrometerschraube *h* mit in 30 Grade getheilter Trommel bewirkt. Da nun die volle Umdrehung der Schraube den Schlitten um 0,3 mm hebt, so ergiebt ein Grad der Trommel 0,03 mm Hebung und es wird leicht möglich, durch Schätzung noch senkrechte Verschiebungen des Objectes um 0,01 mm und weniger vorzunehmen.

Auf Wunsch wird zu dem Mikrotom auch ein Gefrierapparat (Preis 12 bis 15 Mark) geliefert. Derselbe besteht aus einem dünnwandigen Metallkästchen, welches auf einem zur Verhinderung der Wärmezuleitung von der Masse des Mikrotoms her durch eine Filzlage von letzterem getrennten Träger mit Zapfen an Stelle der Klammer eingesetzt wird und in welches mittelst eines zur Seite des Mikrotomes aufgestellten Spritzapparates mit kleinem Gummiblasebalg zerstäubter Aether eingeblasen wird. Das auf die Deckplatte des Kästchens aufgelegte Object wird auf diese Weise zum Gefrieren und Anfrieren gebracht, so dass eine weitere Befestigung behufs des Schneidens nicht erforderlich wird.

Das neue grosse Mikrotom von E. Boecker und das grosse Mikrotom von Reichert mit selbstthätiger Hebung des Objectes, werden ersteres mit 95 Mark, letzteres kleines Modell mit 130 Mark, grosses mit 220 Mark berechnet.

Scheeren, Stahlpincetten. — Von den kleinen Scheeren, die zur Anfertigung mancher Präparate mit Vortheil gebraucht werden können, hat man zwei Arten. Die eine Art gleicht ganz der gewöhnlichen anatomischen Scheere mit geraden Schenkeln, die andere, sogenannte Cooper'sche, besitzt über die Fläche gebogene Klingen. 174

Das Schleifen der Scheeren kann man gleichfalls selber besorgen. Es geschieht, indem man die Schenkel derselben auf dem Steine hin- und herzieht, und dabei darauf achtet, dass immer dieselbe Richtung eingehalten wird, d. h. dass sich die Längenachse des Steines und die des Schenkels stets unter demselben Winkel schneiden.

Von Stahlpincetten braucht man in der Regel für feinere Präparationen nur zwei, eine solche mit feinen und eine solche mit breiteren Spitzen, die am besten auf der Innenseite nicht feilenartig gekerbt, sondern ganz glatt sind, indem sie auch so schon für die kleinen Objecte hinreichend Halt gewähren, dagegen diesen weniger Schaden zufügen als im anderen Falle. Messingpincetten, wie man sie hier und da den Mikroskopen beigegeben findet, taugen durchaus nichts; ebenso sind die sogenannten Schieberpincetten nicht zu empfehlen; für manche Zwecke eignet sich dagegen eine Pincette mit gekrümmten Spitzen recht gut, namentlich wenn man kleine Objecte aus dem Wasser flacher Schalen nehmen will.

Apparate zur Herstellung von Knochenschliffen u. dergl. — Zur Präparation von harten Substanzen, wie von Knochen, Samenschalen 175

u. dergl., bedarf man einer kleinen Uhrfedersäge, einiger feiner Feilen und mehrerer Schleifsteine.

Die erstere erhält man in jeder Werkzeughandlung unter dem Namen „Laubsäge". Sie besteht aus einem stählernen Bügel mit Griff, an welchen das Blatt mittelst beweglicher Stahlbacken festgeschraubt wird. Derartige Blätter, die um einen sehr mässigen Preis zu haben sind, kann man mehrere von verschiedener Feinheit vorräthig haben, obwohl man in den meisten Fällen mit den etwas gröberen am besten zum Ziele kommt. Um die Abnutzung der rauh gehämmerten Innenseiten der Stahlbacken zu verhindern, empfiehlt Reinicke, zwischen diese und das Sägeblatt ein Stückchen Kupferblech mit einzuschrauben. Solche Kupferplättchen kann man sich nöthigenfalls selber verfertigen, indem man eine kleine Kupfermünze auf einem Amboss zu dünnem Blech schlägt und mit der Scheere passende Stückchen abschneidet.

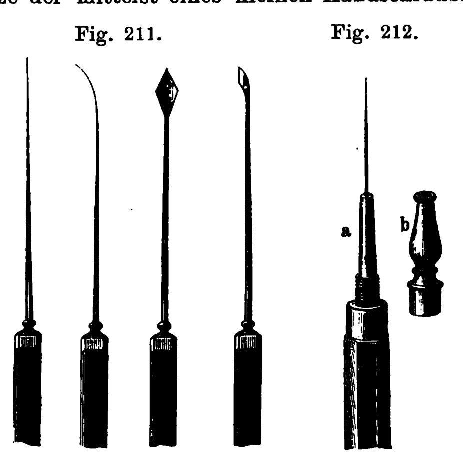
Von den Feilen, die am besten flach sind, muss man mehrere besitzen, welche einen verschieden feinen Hieb haben. Man kann dieselben indessen, wenn man im Besitze geeigneter Schleifsteine ist, ganz entbehren, da die meisten Substanzen bei gehöriger Handhabung das Schleifen noch besser oder mindestens ebenso gut ertragen, wie die Bearbeitung mittelst der Feile.

Als Schleifstein eignet sich für die erste Bearbeitung am besten ein drehbarer, um billigen Preis in den Werkzeug- und Instrumentenhandlungen zu erstehender Stein, weil dadurch die Arbeit ausserordentlich gefördert wird. Man wählt am zweckmässigsten einen solchen von etwa 15 cm Durchmesser und feinem, hartem Korne. Der Stein ruht in einem kleinen gusseisernen Troge, den man erforderlichen Falls an einen Tisch anschrauben kann. Man dreht ihn entweder mittelst der linken Hand an der daran befindlichen Kurbel oder bringt an der letzteren eine kleine Tretvorrichtung an, wenn man beide Hände frei zu haben wünscht. Ausser diesem Steine gebraucht man noch einen harten Abziehstein, wozu sich am besten die sogenannten Arkansassteine eignen, welche seit Jahren in den Handel gebracht worden sind. Ebenso geeignet sind auch Steine aus verkieselten Hölzern. Die Abziehsteine, welche man zur Schärfung seiner Messer gebraucht, sollte man nie für diese Arbeiten benutzen, da man sie immer mehr oder weniger verdirbt; sie eignen sich dazu ausserdem auch schon deshalb schlecht, weil sie zu weich sind und zu viel Schmutz absetzen.

176 **Präparirnadeln.** — Eines der für die feineren Präparationen wichtigsten Werkzeuge des Mikroskopikers bilden die Präparirnadeln. Man benutzt solche von verschiedener Form, die einen mit gerader, die anderen mit gebogener feiner Spitze oder mit einer kleinen messerartigen Schneide (Fig. 211). Zu den ersteren lassen sich ganz gut feine englische Nähnadeln verwenden, welche man in einem Hefte befestigt. Die messerartigen muss man dagegen von dem Instrumentenmacher beziehen. Als

Heft sind die gewöhnlichen Häkelnadelhalter ganz gut zu gebrauchen, bei denen die Nadel mittelst einer Schraube festgehalten wird. Bequemer jedoch als diese, deren Schraube beim Arbeiten oftmals hinderlich werden kann, sind solche Nadelhalter, deren Stiele am Ende einen metallenen, kreuzförmig gespaltenen Ansatz besitzen (Fig. 212 a), in dem die eingesteckten Nadeln mittelst einer übergeschraubten Kappe festgehalten werden (Fig. 212 b). Man kann sich derartige Halter auch leicht selber fertigen. Zu dem Ende lässt man sich von dem Drechsler aus Linden- oder Cedernholz runde, den Stahlfederhaltern ähnliche Stäbchen drehen und befestigt die Nadeln darin auf folgende Weise. Man treibt die Spitze der mittelst eines kleinen Handschraubstockes oder einer flachen Drahtzange festgehaltenen Nadel etwa $^1/_2$ Zoll tief in das weiche Holz, bricht dann das Oesenende ab und schleift das Bruchende etwas zu. Hierauf zieht man die Nadel wieder aus dem Stäbchen und treibt sie mit dem dickeren Ende in das vorher durch die Spitze gemachte Loch, bis sie vollständig festsitzt. Das der Nadel zugewendete Ende des Stäbchens kann schliesslich nach Erforderniss mehr oder weniger zugeschnitten werden. Vor Allem hat man bei der Befestigung der Nadeln in dem Hefte darauf zu sehen, dass die Spitze nicht zu weit heraussteht, weil sie sonst zu leicht federt. Dieselbe muss stets frei von Rost und hinreichend scharf erhalten werden, was man durch Schleifen auf dem Abziehsteine unter beständigem Umdrehen der Nadel leicht und vollkommen gut bewerkstelligen kann. Um dabei eine möglichst feine und reine Spitze zu erhalten, ist es zweckmässig, dieselbe während des Schleifens öfter unter der Lupe zu betrachten.

Fig. 211. Fig. 212.



177 **Schraubstöcke, Pinsel, Glasstäbe etc.** — Ein kleiner Handschraubstock dient zweckmässig zum Festhalten solcher Gegenstände, die man mit der Hand nicht mehr leicht fassen kann, um davon zarte Durchschnitte zu gewinnen. Kleine, etwa injicirte Holzstückchen, nicht zu kleine harte Samen u. dergl. lassen sich damit recht gut festhalten. Dann eignet er sich auch zum Einklemmen solcher Objecte, welche zum Behufe der Anfertigung feiner Schnitte zwischen Hollundermark- oder Korkplättchen gelegt werden müssen, wovon später das Ausführlichere. Bei der Bearbeitung sehr harter Gegenstände leistet ausserdem ein

grösserer Schraubstock, der an den Tisch festgeschraubt wird, vortreffliche Dienste.

Einige feine und wohl gespitzte Haarpinsel dienen theils dazu, um die feinen Schnittchen von den Messerklingen aufzunehmen und an ihren Bestimmungsort zu bringen, theils finden sie bei der später zu besprechenden Auspinselung der Präparate Anwendung. Ferner bedarf man einiger stärkerer Pinsel zur Wegnahme überschüssiger Flüssigkeitsmengen. Zur Aufnahme von Schnitten u. dergl. aus Flüssigkeiten eignen sich die von H. Boecker, Thum u. A. angezeigten Präparirschaufelchen aus dünnem Platinblech ganz vortrefflich.

Glasstäbe, die man sich am Ende rund zugeschmolzen hat, werden benutzt, um kleine Mengen von Wasser oder chemischen Reagentien auf die Objectträger zu übertragen. Ausserdem bedarf man noch einiger anderer Glasgeräthe und Porcellangefässe. Dahin gehören einige Glasglocken zum Abhalten des Staubes von fertigen Präparaten, eine Anzahl von Uhrschälchen oder Glasschälchen mit Deckel, theils um etwa darin fertige Schnitte unter Chlorcalcium, Glycerin, Alkohol etc. aufzuheben, theils um solche Schnitte der Einwirkung gewisser chemischer Mittel zu unterwerfen. Einige Kochröhren dienen vorzugsweise zum Aussüssen mancher Präparate, zum Digeriren kleinerer Gegenstände in Wasser, Weingeist u. dergl., zum Kochen von Pflanzentheilen in den später genannten Reactions- und Macerationsmitteln. Kleine — neben anderen auch ganz kleine sogenannte mikrochemische — Abdampfschalen, ebenso einige kleine Porcellantiegel lassen sich ebensowohl bei den chemischen Reactionen als bei der Vorbereitung der Objecte: Maceration, Einäscherung u. dergl. verwenden, und eignen sich namentlich die ersteren hierzu oft weit besser als Uhrgläschen. Zwei bis drei grössere flache Porcellangefässe, am einfachsten weisse Untertassen, nehmen die einen das bei der Beobachtung nöthige Wasser, die anderen die schon benutzten Objectgläser und Deckgläschen auf, um sie feucht zu erhalten und später leichter und vollständiger reinigen zu können. Endlich bedarf man sehr häufig einer kleinen Spritzflasche, wie man deren in jedem chemischen Laboratorium hat.

Eine grössere Spirituslampe, am besten aus Glas, wird vorzüglich bei den mikrochemischen Arbeiten sowie bei der Maceration benutzt. Zwei kleinere wird derjenige gebrauchen, welcher den heizbaren Objecttisch von Max Schultze benutzt.

Um die Uhrschälchen, Kochröhren, Abdampfschälchen und Tiegelchen aufzunehmen, in denen man Präparate der Einwirkung der Wärme aussetzen will, bedarf man zweier Halter, eines solchen für kleine Abdampfschalen mit rundem Ring und eines anderen zum Festhalten der Reagenscylinder. Auch ein kleiner Dreifuss aus Messing mit Drahtnetz und mit verschieden weiten Ringen wird in dieser Beziehung gute Dienste leisten und ist namentlich zu manchen Zwecken fast unentbehrlich.

2. Evacuirungs- und Injectionsapparate.

Luftpumpe. — Zum Austreiben der Luft aus solchen Präparaten, 178 wo oft kein anderes Mittel helfen will, ebenso zu der später zu besprechenden Injection von Pflanzentheilen etc. leistet eine kleine Luftpumpe ausgezeichnete Dienste, wie sie in neuerer Zeit von mehreren optischen Werkstätten in vervollkommneter Gestalt zu Preisen von 50 bis 75 Mark geliefert wird.

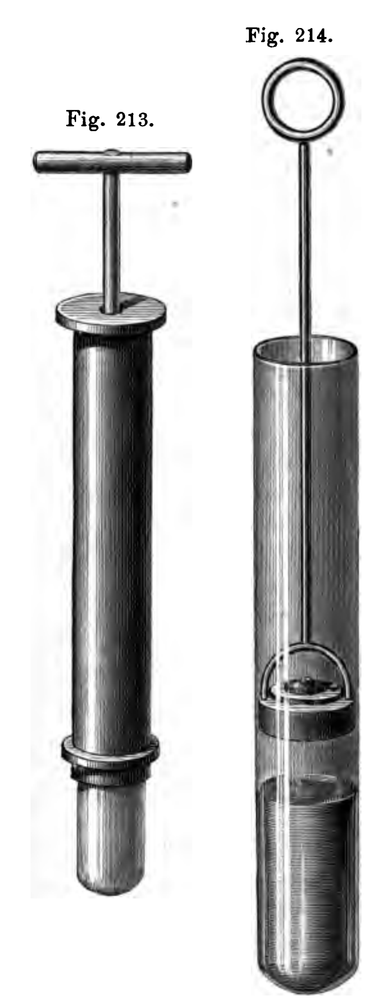


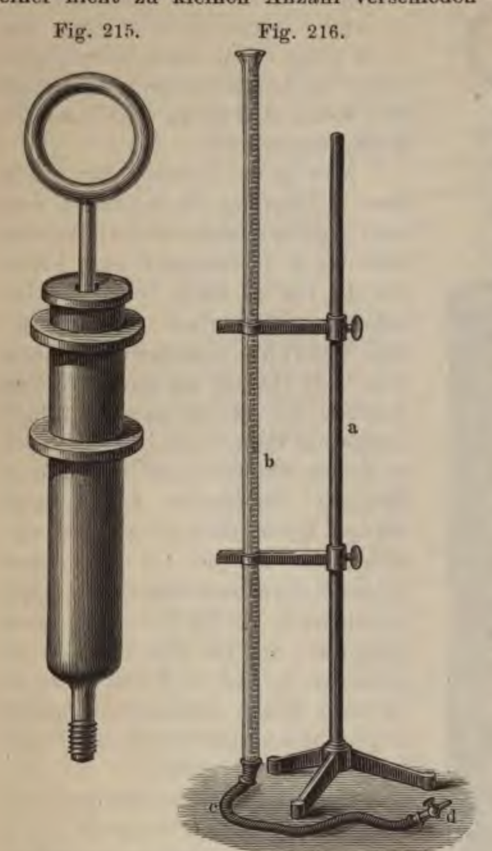
Fig. 213. Fig. 214.

Man bedarf indessen nur selten eines so kostspieligen Apparates, sondern kann sich auch vielfach mit einem einfacheren Instrumente zum Preise von 12 bis 18 Mark behelfen. Ich selbst habe früher ein solches in der von Schacht angewendeten Form (Fig. 213) vielfach mit gutem Erfolge benutzt. Es ist dies eine Ventilluftpumpe mit etwa 15 cm langem Stiefel, an dessen unteres Ende die glockenförmigen Recipienten angeschraubt werden, deren man einige von verschiedener Grösse besitzen muss. Einige Kolbenstösse sind in der Regel hinreichend, um die Luft aus einem Präparate, das im Wasser liegt, zu entfernen, so dass es in dem letzteren zu Boden sinkt. Zur Injection bedarf es gewöhnlich eines etwas länger andauernden Auspumpens.

Noch einfacher und weniger kostspielig ist die von Unger in seiner Anatomie und Physiologie der Pflanzen empfohlene kleine Injectionspumpe (Fig. 214), die man sich mit wenig Mühe und um geringen Preis selbst anfertigen kann, die indessen auch den genannten Zwecken nicht in so vollkommenem Maasse entspricht, wie das andere Instrumentchen. Dieselbe besteht aus einer 25 bis 30 cm langen, 20 bis 25 mm weiten, unten zugeschmolzenen Glasröhre, in der sich ein luftdicht schliessender, mit einem nach oben sich öffnenden Ventil versehener Kolben auf- und abbewegen lässt.

179 **Injectionsapparate.** — In der thierischen Histologie werden die Injectionsapparate vielfach in Gebrauch genommen. Die ausgedehnteste Verwendung findet unter diesen Vorrichtungen die Injectionsspritze (Fig. 215), welche man je nach Grösse und weiteren Zugaben um 10 bis 20 Mark erhält. Wer sich vielfach mit Injectionen thierischer Präparate befasst, muss davon mindestens zwei von verschiedenem Inhalte und mit einer nicht zu kleinen Anzahl verschieden — 2 mm bis einige Bruchtheile des Millimeters — weiten Canülen besitzen, da sich eine kleine Spritze ebenso wenig zur Injection grösserer Gefässe, als eine grosse zur Ausfüllung der zartesten und feinsten Blutbahnen eignet. Man muss das Instrument in der Regel vom Instrumentenmacher beziehen, da zur Aushülfe oder zum Ersatz der eigentlichen Spritze bestimmte einfachere Apparate doch nur höchst selten ihrem Zwecke entsprechen. Ich beschränke mich daher hier auf dessen Erwähnung und Abbildung, ohne mich auf eine nähere Beschreibung seiner Einrichtung und Behandlung einzulassen, welche füglich in einem der folgenden Abschnitte ihren Platz finden kann.

Fig. 215. Fig. 216.



Wo ein gleichmässiger und nicht zu starker, langsam wirkender Druck zur Injection feiner Organe erfordert wird, da reicht die Injectionsspritze nicht mehr aus und es müssen Injectionsapparate mit constantem, regulirbarem Drucke zur Anwendung kommen.

Einen einfachen derartigen Apparat (Fig. 216), kann man sich aus einer zur Aufnahme der Injectionsmasse bestimmten nicht zu engen, graduirten Trichterröhre herstellen, welche von einem passenden Stativ *a* getragen und mit einem Kautschukschlauche *c* verbunden wird, der an seinem anderen Ende eine für die Canülen passende Metallröhre mit Hahn *d* befestigt enthält.

3. Objectträger und Deckgläser.

Die Objectträger, welche dem zur Beobachtung hergerichteten Gegenstande als Unterlage dienen, müssen aus möglichst reinem, blasenfreiem Glase bestehen. Sehr gut eignen sich zur Herstellung derselben Abfälle von Spiegelglas, welche man sich leicht um geringe Kosten in grosser Menge verschaffen kann. Auch das in neuerer Zeit hierzu verwendete reine Salinglas ist dem gewöhnlichen Glase weit vorzuziehen. Das Glas darf nicht zu dünn sein, weil es sonst leicht zerbrechlich ist; ebenso soll es aber auch nicht über 2 mm Dicke haben. Ob seine Farbe rein weiss ist, oder einen Stich ins Grüne oder Blaugrüne hat, kommt nicht sehr in Betracht. 180

Zwei der wesentlichsten Eigenschaften der Objectträger machen Form und Grösse aus. Es kommen bei Bestimmung derselben mancherlei Gründe in Betracht, die sowohl für die unmittelbar bei der Beobachtung benutzten Gläschen, als bei denen, welche zur Aufbewahrung von Präparaten bestimmt sind, Geltung haben. Zunächst soll der Objectträger eine Grösse und Form haben, die es ermöglichen, nicht gar zu kleine Präparate darauf mit Bequemlichkeit unterbringen und mit einem passenden nicht zu kleinen Gläschen bedecken zu können. Dann muss er es gestatten, alle diejenigen Operationen auf ihm ohne Beengung auszuführen, welche unter dem einfachen oder zusammengesetzten Mikroskope vorgenommen werden müssen, um entweder das Object vollständig zur Beobachtung vorzubereiten, oder um ihm im Laufe der Untersuchung möglichst viele Seiten abgewinnen zu können. Er darf aus diesen Gründen namentlich nicht zu schmal sein. Ferner ist darauf zu sehen, dass der Objectträger mit Leichtigkeit und Bequemlichkeit unter dem Mikroskope gehandhabt, namentlich ohne Beengung und ohne Gefahr des Ueberkippens auf dem Objecttische bewegt werden kann. In dieser Beziehung ist namentlich das Hervorragen über den Rand des nicht zu kleinen Objecttisches zu vermeiden, also für die Länge des Glastäfelchens ein entsprechendes Maass zu wählen. Endlich ist eine möglichst geringe Zerbrechlichkeit und eine solche Form erwünscht, welche den Objectträger bequem und gefällig in die Präparatensammlung einordnen lässt und dabei gestattet, neben dem Präparate die nothwendigen Bezeichnungen anzubringen. Das Verhältniss zwischen Länge und Breite wird durch die letzteren Erwägungen namentlich bestimmt.

Als unter allen Umständen unbequem und wenig zweckmässig sind die unverhältnissmässig langen und schmalen Objectträger zu erklären, wie sie früher fast allgemein angewendet wurden und wie sie noch gegenwärtig unter der Bezeichnung „englisches Format" ausgegeben und von manchen Seiten verwendet werden. Namentlich sind dieselben bei der eigentlichen Beobachtung unbequem zu gebrauchen. Ich habe diese Form daher schon seit nahezu 30 Jahren verlassen und mich für Object-

träger von 45 mm Länge und 30 mm Breite entschieden, eine Grösse, die auch von H. v. Mohl empfohlen worden ist. Der Objectträger vereinigt bei dieser Grösse und Form alle Eigenschaften, welche man von ihm fordern kann, und werden sich nur wenige Präparate finden, zu deren Aufbewahrung er zu klein erschiene. Das von dem Giessener Tauschverein vorgeschlagene Format besitzt eine Länge von 48 mm und eine Breite von 28 mm und wer sich indessen mit dem genannten Vereine in Verkehr setzen will, der wird sich an das von ihm bestimmte Maass halten müssen.

Für manche dickere Gegenstände, die man unter Wasser oder anderen Flüssigkeiten zu beobachten wünscht, eignen sich Objectträger mit concavem Ausschliff. Dieselben werden jetzt allgemein von den Präparatenhandlungen und von den Optikern geliefert, sind aber immer etwas theuer. Man kann sich ähnliche Objectträger selbst anfertigen, wenn man in der Mitte der gewöhnlich gebrauchten einen kreisförmigen Wall von irgend einem Lack, von Wachs oder Kitt anbringt.

181 **Deckgläser.** — Zum Bedecken der unter Wasser oder anderen Flüssigkeiten zu beobachtenden Objecte verwendet man kleine quadratische oder rechteckige Täfelchen aus dünnem, blasenfreiem und ebenem Glase, welche in verschiedener Grösse, Form und Dicke um einen verhältnissmässig geringen Preis von den Optikern, oder auch von den jetzt ziemlich zahlreich vorhandenen mikroskopischen Instituten [Boecker in Wetzlar, H. Vogel in Giessen, Hartig, Stender, Schneider, Thum u. A. in Leipzig, E. Kaiser, Getschmann, Klönne und Müller in Berlin, Rodig in Hamburg, Möller in Wedel (Holstein) etc.] bezogen werden können.

Es ist gut, wenn man Deckgläser von verschiedener Dicke vorräthig hat, um damit je nach Bedürfniss wechseln zu können. Für die schwächeren Objectivsysteme eignen sich solche von 0,3 bis 0,25 mm, während man bei den stärkeren und stärksten in der Regel zu noch dünneren von etwa 0,2 bis 0,1 mm greifen muss.

Was die Grösse der zu verwendenden Deckgläschen betrifft, so ist eine solche von 15 bis 18 mm Seite im Quadrat bei der Beobachtung entschieden einer kleineren vorzuziehen. Kleinere Gläschen von 10 bis 12 mm im Quadrat können dagegen oft recht gut bei der Aufbewahrung von Präparaten gebraucht werden, und es haben dieselben vor den grösseren sogar den Vorzug, dass der luftdichte Verschluss bei ihnen weit leichter gelingt als bei jenen. Für stärkere Objectivsysteme mit breitem Rande und kurzem Focalabstand haben dieselben dagegen den Nachtheil, dass man, namentlich wenn das Präparat nicht ganz in der Mitte liegt, auf den Wall von Lack oder Firniss aufstösst und oft das Objectiv nicht in dem erforderlichen Maasse dem Gegenstande zu nähern vermag, so dass sich für zartere, stärkere Vergrösserungen verlangende Präparate unter allen Umständen die erstgenannte Grösse der Deckgläschen empfehlen dürfte.

Für alle Objectivsysteme von 6 bis 7 mm Brennweite an mit grosser numerischer Apertur, welche keine Correctionsfassung besitzen, ist es erforderlich, die Dicke des Deckglases zu ermitteln weil dieselben nur bei einer bestimmten Stärke desselben, bei welcher sie justirt worden sind, das vollkommenste Bild gewähren. Aber auch bei den Correctionssystemen bildet es eine nicht zu unterschätzende, manchen Zeitverlust ersparende Bequemlichkeit, wenn die Deckglasdicke der zu beobachtenden — etwa getauschten — Dauerpräparate angegeben ist, oder wenn man sich während der Beobachtung von derjenigen der anzuwendenden Gläser sofort Kenntniss verschaffen kann. Diesen Zwecken dienen die in dem letzten Jahrzehnte ersonnenen sogenannten „Deckglastaster", welche je nach ihrer Einrichtung zu Preisen von 9 bis 15 Mark geliefert werden.

II. Zusatzflüssigkeiten und Reagentien.

1. Zusatzflüssigkeiten.

Unter Zusatzflüssigkeiten hat man alle jene Flüssigkeiten zu verstehen, welche bei der mikroskopischen Beobachtung selbst zur Einhüllung des Objectes dienen. Je nach den Zwecken, welche man zu erreichen beabsichtigt, wird die anzuwendende Zusatzflüssigkeit eine andere sein müssen, und muss eine bestimmte Entscheidung für eine solche von vorausgegangenen Versuchen oder von den genauesten Erwägungen über die Beschaffenheit des zu untersuchenden Gegenstandes abhängen. Am häufigsten finden wässerige Flüssigkeiten, fette und flüchtige Oele sowie flüssige Harze Verwendung.

Wasser und indifferente wässerige Flüssigkeit. — Die bis jetzt am meisten in Gebrauch gewesene Zusatzflüssigkeit ist das Wasser. Es ist in dieser Beziehung von vielen Seiten vorgeschlagen worden, nur destillirtes Wasser zu verwenden. Häufig reicht man indessen auch mit einem reinen und klaren Bach- oder Brunnenwasser aus und in einzelnen Fällen ist dieses sogar dem destillirten Wasser vorzuziehen, weil es weniger verändernd auf die Objecte wirkt als ganz reines, säure- und salzfreies Wasser. Das Wasser ist indessen nicht für alle Fälle eine geeignete Zusatzflüssigkeit, indem es auf eine ganze Reihe zarterer pflanzlicher und namentlich auf fast alle thierische Gewebe, sowie auf die Inhaltsbestandtheile der dieselben zusammensetzenden Zellen mehr oder minder starke Einwirkungen äussert. 182

Für zarte in der Entwickelung begriffene Pflanzengewebe habe ich nach meinen Erfahrungen bis jetzt als nicht eingreifende Flüssigkeiten höchst verdünnte Gummilösung, ebenso Kochsalz-, Zucker- und Eiweisslösung meistens vollkommen ausreichend gefunden. Die Untersuchungen

in der thierischen Entwickelungsgeschichte und Gewebelehre erfordern dagegen, wie uns die neuesten Forschungen auf diesen Gebieten belehren, eine noch weit sorgfältigere Beachtung der jeweiligen Zusatzflüssigkeit. Man hat von indifferenten Zusatzflüssigkeiten in neuester Zeit Glaskörperflüssigkeit, Blutserum, Fruchtwasser, ebenso Eiweisslösung, sowie höchst verdünnte 1- bis $1^1/_2$ procentige Salz- und Zuckerlösungen empfohlen und verwendet, wobei dem Mikroskopiker in Bezug auf die Bewahrung solcher bekanntlich leicht verderbenden Flüssigkeiten der Umstand zu statten kommt, dass thierische Flüssigkeiten leicht und lange Zeit hindurch vor Zersetzung bewahrt werden können, wenn man denselben ein Stückchen Kampher, etwas Chloralhydrat oder einige Naphtalinsplitterchen zugiebt, oder dieselben mit einigen Tropfen Carbolsäure, mit Jodtinctur oder einer Auflösung von Jod in Jodwasserstoffsäure versetzt. Allein auch diese Flüssigkeiten, welche in ihrem Gehalte an oben genannten Substanzgruppen verschieden sind, erfüllen nicht überall und in gleichem Maasse die zu stellenden Anforderungen und muss man in Bezug auf ihre Auswahl und Concentration mit Vorsicht zu Werke gehen. Als eine alle anderen der genannten übertreffende, der allgemeinsten Anwendung fähige Zusatzflüssigkeit ist von Professor Max Schultze das Fruchtwasser von jungen Wiederkäuer-Embryonen erkannt und empfohlen worden. Dasselbe lässt sich durch Zusatz von Jodtinctur, Jod in Substanz oder Jodwasserstoffsäure vor Fäulniss bewahren und selbst monate- bis jahrelang aufbewahren. Um das richtige Maass des zuzusetzenden Jodpräparates zu treffen, dient als Anhaltspunkt entweder die Färbung oder der Geruch. Sobald die Flüssigkeit, von Schultze „Jodserum“ genannt, die Farbe eines normalen Urines angenommen hat und der Geruch nach Jod sich geltend zu machen beginnt, ist von den Jodpräparaten die genügende Menge vorhanden. Beachtet man genau die Mengen von Wasser, Eiweiss, Salzen etc., welche an der Zusammensetzung des Fruchtwassers Theil nehmen, so lässt sich leicht eine geeignete Flüssigkeit herstellen und in derselben Weise vor Verderbniss bewahren, wie es eben angegeben wurde. Eine von mir verwendete Mischung besteht je nach Umständen aus 1000 g destillirtem Wasser, 25 bis 100 g flüssigem Hühnereiweiss und 5 bis 10 g Kochsalz mit dem erforderlichen Zusatz von Jod.

Für solche Objecte, namentlich vegetabilische, deren Inhaltskörper (Proteïnkörper u. dergl.) durch Wasser oder wässerige Zusatzflüssigkeit Veränderungen und Umbildungen erleiden und ihr Aussehen ganz und gar verändern, kann mit Vortheil ein reines — nicht ranziges — fettes Oel (Olivenöl, Mandelöl, Ricinusöl) als Umhüllungs- (und auch als Aufbewahrungs-) flüssigkeit verwendet werden.

183 **Aufhellende Flüssigkeiten.** — Manche Gegenstände besitzen, wenn man dieselben unter Wasser oder unter einer der genannten wässerigen Flüssigkeiten beobachtet, eine zu geringe Durchsichtigkeit,

um ihre Structurverhältnisse mit hinreichender Klarheit erkennen zu lassen, und man umgiebt sie mit einem Mittel, welches das Licht stärker bricht als jene. Andere Objecte verlangen auch bei ausreichender Durchsichtigkeit zum deutlichen Sichtbarmachen feinerer Einzelheiten ihrer Structur eine Zusatzflüssigkeit, welche in ihrem Brechungsvermögen bedeutend mehr abweicht als die genannten, und zwar eine solche, deren Brechungsindex bedeutend darunter bleibt (Luft) oder weit darüber hinausgeht.

Für Objecte, welche von Wasser mehr oder minder durchdrungen erscheinen, eignet sich als Zusatzflüssigkeit vor allen anderen das Glycerin, welches einen Brechungsexponenten von 1,475 besitzt, während jener des Wassers gleich 1,336 ist. Je nach Bedürfniss kann das Glycerin noch mit Wasser verdünnt werden, wodurch der Brechungsexponent im Verhältniss zu dem Mischungsverhältnisse herabgedrückt wird. So ist z. B. derjenige einer Mischung aus gleichen Theilen Glycerin und destillirtem Wasser gleich 1,40. Für trockene Gegenstände oder solche, welchen ohne Nachtheil ihr Wasser entzogen werden kann, verwendet man fette oder flüchtige Oele, oder auch Lösungen von Harzen, je nachdem das Object eine Zusatzflüssigkeit von grösserer oder geringerer Brechungskraft verlangt.

Von den flüchtigen Oelen und anderen stark brechenden Flüssigkeiten sind es vorzugsweise Terpentinöl, Citronenöl, Nelkenöl, und Anisöl, Cassiaöl, Phenyl-Senföl, Monobrom-Naphtalin mit Brechungsexponenten von 1,476, 1,527, 1,57, 1,64, 1,655 und 1,658, welche man bisher als Zusatzflüssigkeiten benutzt hat, von denen das Nelkenöl mit den aufhellenden Eigenschaften noch einige andere verbindet, die ihm eine ausgedehnte Anwendung für den Mikroskopiker sichern.

2. Reagentien.

Die mikrochemischen Reagentien, deren Zahl sich in der neuesten Zeit nicht unbedeutend vermehrt hat, dienen einestheils dazu, um über die chemische Beschaffenheit und Zusammensetzung einzelner Inhaltspartien organischer sowohl, als anorganischer Natur, sowie gewisser Gewebe und Gewebetheile Aufschluss zu geben, anderentheils werden sie gebraucht, um ganze Gewebe in einen für die Beobachtung und die Präparation geeigneten Zustand zu bringen, um mit einander innig verbundene Elementarorgane theils wirklich von einander zu trennen, theils für das beobachtende Auge insofern von einander zu scheiden, als sie in denselben ein verschiedenes Verhalten gegen das Licht hervorrufen und dieselben gesondert hervortreten lassen. Man könnte insofern von chemischen Reagentien im engeren Sinne und sodann von präparativen und morphologischen Reagentien sprechen. Eine strenge Scheidung in diese verschiedenen Gruppen lässt sich indessen nicht durchführen,

indem ein und dasselbe Reagens bald in der einen, bald in der anderen Weise wirkt, bald beide Einwirkungsweisen zugleich in sich vereinigt. Wir werden dieselben daher nach chemischer Reihenfolge betrachten.

184 **Jod.** — Das Jod wird in Substanz hauptsächlich nur als Präservativ bei den oben erwähnten thierischen Zusatzflüssigkeiten benutzt. Da, wo man indessen seine allmälige Einwirkung auf gewisse Körper studiren will, wie z. B. bei Stärkemehluntersuchungen, kann man dasselbe auch in kleinen Splitterchen der Zusatzflüssigkeit, resp. dem Wasser beifügen, von welchem das Object umgeben ist. Weit ausgedehnter ist seine Anwendung — namentlich in der Pflanzenhistologie — in Form von alkoholischer oder wässeriger Lösung.

Die alkoholische Jodlösung, auch Jodtinctur genannt, bereitet man am besten von solcher Stärke, dass noch etwas Jod im Ueberschuss vorhanden ist. Dieselbe lässt sich dann leicht bis zu beliebigem Grade verdünnen, wobei immer etwas Jod ausgeschieden wird.

Die wässerige Jodlösung wird am besten als eine Composition von Jod und Jodkalium bereitet, weil sich ersteres in reinem Wasser nur in sehr geringer Menge (1 in 700 Theilen) löst. Man stellt dieselbe dar, indem man zuerst 0,2 g Jodkalium in 30 g destillirten Wassers löst und dann dieser Lösung 0,06 g metallisches Jod zusetzt. Statt dieser Bereitungsweise ist auch eine vorgängige Lösung des Jods in Glycerin und darauf folgender Wasserzusatz zu empfehlen, namentlich auch deshalb, weil die Jodglycerinlösung für sich, z. B. bei Untersuchungen über Klebermehl etc. mannigfacher Anwendung fähig ist.

Die verschiedenen Jodpräparate dienen sowohl zur Sichtbarmachung sehr durchsichtiger Elementarorgane, indem sie denselben eine mehr oder minder hohe gelbe bis gelbbraune Färbung ertheilen, als auch zum Nachweise verschiedener chemischer Verbindungen, wie der Stärke, der das Jod eine blaue, violette bis schwarzblaue Färbung ertheilt, des Zellstoffes, den es für sich oder in Verbindung mit Schwefelsäure blau färbt.

185 **Chlorzinkjodlösung.** — Ein für den Pflanzenhistologen sehr wichtiges Reagens bildet das Jod in Verbindung mit Chlorzink als sogenannte Chlorzinkjodlösung. Diese Lösung wurde zuerst von Professor Schultze in Rostock als Reagens auf Zellstoff, später von Sanio in verdünnter Form auch für den Nachweis des Gerbstoffes, den sie röthlich bis violett färbt, empfohlen, und wird nach der Vorschrift von Radlkofer folgendermaassen bereitet. Eine bei gewöhnlicher Temperatur bereitete Auflösung von Zink in Salzsäure wird bei einer, den Siedepunkt des Wassers nicht übersteigenden Temperatur zu einem, mit vielem Wasser sich nicht trübenden Syrup von dem specifischen Gewichte 2,0 eingedampft und dieser hierauf bis zu einem specifischen Gewichte von 1,8 mit Wasser verdünnt, wozu auf 100 Theile der Chlorzinklösung 12 Theile Wasser erforderlich sind. In 100 Theilen dieser Flüssigkeit löst man bei gelinder Wärme 6 Theile Jodkalium und so viel

Jod, als dieselbe aufzunehmen vermag. Die Chlorzinkjodlösung hat nun die Consistenz von concentrirter Schwefelsäure, ist vollkommen klar und besitzt eine hell gelbbraune Farbe. Zum Gebrauch kann man sich mehrere Verdünnungsstufen anfertigen, da die Wirkung eine nach dem Grade der Concentration verschiedene ist. Für manche Objecte empfiehlt sich auch die Mischung von Chlorzinkjodlösung mit Jod-Jodkaliumlösung.

Säuren. — Eine Reihe wichtiger Reagentien bieten eine Anzahl von Mineral- und organischer Säuren. **186**

Die Schwefelsäure wird sowohl concentrirt als in verschiedenen Verdünnungsgraden angewendet. Als concentrirte Schwefelsäure benutzt man das gereinigte erste Schwefelsäurehydrat der Officinen von 1,83 specif. Gewicht. Dieselbe dient namentlich in der Pflanzenhistologie bei den Untersuchungen des Pollens und der Sporen, sodann als Aufquellungsmittel der Zellstoffhüllen und in Verbindung mit Kalibichromat (doppelchromsaures Kali) zur Maceration. In der thierischen Gewebelehre wird sie vorzugsweise als Isolationsmittel bei den Untersuchungen der hornigen Gebilde (Haare, Nägel, verhornte Oberhaut etc.) von Nutzen.

Von den verschiedenen Verdünnungsgraden finden die niedrigeren, d. h. die die grössten Säuremengen enthaltenden vorzugsweise in der Pflanzenhistologie Anwendung, und zwar sowohl als Aufquellungsmittel für die Zellstoffhüllen wie auch in Verbindung mit Jod als Reagens auf Zellstoff und in Verbindung mit Zuckerlösung zum Nachweis eiweisshaltiger Substanzen. Zu diesen Zwecken hält man sich am besten verschiedene Mischungen, und zwar von je 100 Theilen Säure auf 60 bis 20 Theile Wasser (Schacht empfiehlt im Allgemeinen 3 Theile Säure auf 1 Theil Wasser) bereit. Die höheren und höchsten Verdünnungsgrade werden dagegen häufig bei Untersuchungen in der thierischen Gewebelehre benutzt. So z. B. dienen nach Max Schultze Verdünnungen von etwa 2 bis 10 Theilen Säure auf 500 Theile Wasser zur Aufhellung und Erhärtung der Bindegewebe, sowie der Stützsubstanzen in den Centralorganen des Nervensystemes, der Netzgerüste der Lymphdrüsen etc.

Schweflige Säure wird nach Klebs in der Thierhistologie als geringer Zusatz zu einer 5 procentigen Zuckerlösung (1 Tropfen gesättigter Lösung der ersteren auf etwa 1 ccm der letzteren) zur Ablösung der Epithelien und zur Aufhellung der Bindegewebe ohne Quellung angewendet.

Die Salpetersäure wird sowohl als Reagens wie als Macerations- und Fixirungsmittel gebraucht. Man kann für alle Fälle die gewöhnliche concentrirte Salpetersäure der Apotheken benutzen. Als Reagens gebraucht man dieselbe entweder für sich allein oder in Verbindung mit Ammoniakflüssigkeit zum Nachweise der vegetabilischen „Intercellularsubstanz“, ebenso von stickstoffhaltigen Substanzen der Pflanzen- und Thiergewebe, welchen sie eine gelbe Färbung ertheilt. Auch kann sie zu dem an anderem Orte zu besprechenden Nachweise der Korksubstanz dienen.

Als Macerationsmittel dient die Salpetersäure für sich allein unter Erwärmen zum Ausziehen der sogenannten incrustirenden Substanzen der Zellstoffhüllen verholzter Pflanzenzellen, sowie zur Isolirung dieser letzteren, der Knochenkörperchen, der Zahnröhrchen, Bindegewebskörperchen etc. Es wird jedoch die Wirkung dieser Säure bedeutend gesteigert, wenn man ihr chlorsaures Kali zugiebt. Dieses sogenannte Schultze'sche Macerationsgemisch wurde früher hauptsächlich in der Pflanzenhistologie benutzt; in neuerer Zeit hat dasselbe indessen auch Eingang in die Thierhistologie gefunden. So gebrauchte es z. B. Kühne als Mittel zur Isolirung der Muskelfäden, Heidenhain zur Maceration des hyalinen Knorpels.

In starker Verdünnung, 25 Theile Säure auf 100 Theile Wasser wurde die Salpetersäure auch zum Studium der Elemente der glatten Muskeln und ebenso in höchster Verdünnung von 1 Theil Säure auf 1000 Theile Wasser zur Aufhellung quergestreifter Muskeln empfohlen. Ferner dient sie stark verdünnt zur Fixirung beim Studium der Säugethier- und Vogelembryonen (Altmann) in 50 proc. Lösung bei Kerntheilung der Eier (Flemming).

Die Salzsäure wird in concentrirtem Zustande — die gewöhnliche Salzsäure der Apotheken — sowohl in der Thier- als in der Pflanzenhistologie als Reagens auf stickstoffhaltige Substanzen benutzt, denen sie nach längerem Verweilen in ihr eine tief violette Färbung ertheilt. Von Schacht wurde dieselbe zur Lösung der Stärkekörner und von Kabsch in Verbindung mit Aetzkali und concentrirter Schwefelsäure zur Isolirung der sogenannten tertiären Verdickungsschicht verholzter Zellstoffhüllen von Laubhölzern, von Pfitzer zum Nachweise der Zellkerne der Diatomeen, von Hanstein in Verbindung mit Aetzkali zur Aufhellung undurchsichtiger Gewebemassen verwendet. In neuester Zeit ist ihre Anwendung eine noch ausgedehntere geworden, indem sie zu einer später zu besprechenden Reaction auf Holzstoff, sowie zum Nachweise des Hypochlorins, eines von Pringsheim entdeckten Gemengtheiles des Chlorophylls, dient.

In der Zoohistologie leistet die concentrirte Salzsäure sehr gute Dienste zur Lösung der Zwischensubstanz von Muskeln und Harncanälchen (Henle), unter ein- bis zweitägigem Liegen der Präparate darin zur Isolirung der Hautnerven, ferner zur Isolirung der Bindegewebskörperchen und mit Wasser verdünnt zur Darstellung des Knorpelgerüstes der Knochen, indem sie die Knochenerde löst.

In sehr hochgradiger Verdünnung von 1 Theil Säure auf 200 bis 1000 und mehr Theile Wasser gewährt diese Säure eines der trefflichsten Reagentien zum Studium der Muskeln.

Phosphorsäure wird zum Aufquellen zarter Pflanzengewebe und der Krystalloide verwendet, sowie zur Entkalkung von embryonalen Knochen empfohlen (Strelzoff).

Die Chromsäure, welche man in von Schwefelsäure möglichst freiem Zustande rein auskrystallisirt und vollständig getrocknet in gut schliessenden Gefässen trocken aufbewahren muss, verdankt ihre Verwendung in der Gewebelehre theils ihren quellenden und macerirenden, theils ihren stickstoffhaltige Körper erhärtenden Eigenschaften.

Auf Pflanzengewebe wirkt sie in concentrirtem Zustande ähnlich wie das Schultze'sche Macerationsgemisch. Pollenhäute, sowie die Cuticularschichten und das Korkgewebe, sollen nach Pollender von derselben gelöst werden. In mässig verdünntem Zustande bietet sich in ihr ein ausgezeichnetes Mittel zur Auflockerung der Zellmenbranen und der Stärkekörner, sowie zur Darstellung von deren Schichtung, welche in einer mit etwa 6 Theilen Wasser verdünnten Säure auf das Prachtvollste hervortritt. Auf die Knochenerde wirkt die mässig verdünnte Chromsäure (etwa 20 Proc.) ähnlich wie die Salzsäure. Man verwendet sie daher auch bei Untersuchungen der Knochen- und Knorpelgewebe, zum Entkalken der Knochen sowohl als der verknöcherten Knorpel.

Als Erhärtungsmittel für thierische Gewebe, sowie als Fixationsmittel des Plasmakörpers thierischer und pflanzlicher Zellen, wird die Chromsäure nur in bedeutender, am bequemsten aus einer stärkeren Lösung herzustellender Verdünnung angewendet, indem man 1 Theil der Säure mit 50 bis 200 Theilen Wasser versetzt. Eine so verdünnte Säure leistet zur Erhärtung der Sinnesnerven unter Bewährung der feinsten Organisationsverhältnisse, drüsiger Organe des Rückenmarkes und des peripherischen Nervenapparates, ebenso zur Fixirung von Kern- und Zelltheilungszuständen ganz Ausgezeichnetes und verdient hierfür dem Alkohol meist vorgezogen zu werden.

In sehr starker Verdünnung, 1 Theil Säure auf 2000 bis 5000, ja auf 10 000 bis 15 000 Theile Wasser, verwendet man die Chromsäurelösung zur Sichtbarmachung sehr zarter thierischer Structurverhältnisse, indem dieselbe unter Bewahrung der Textur der Gewebe etwas macerirend wirkt, und so Elemente des feineren Baues, wie Otto Deiters angiebt namentlich der Nervengewebe, zur Anschauung bringt, welche sich an den frischen Präparaten vollständig der Beobachtung entziehen.

Die Osmiumsäure, Ueberosmiumsäure der neueren Autoren, welche entweder in krystallisirtem Zustande oder als Lösung im Dunkeln aufbewahrt werden muss und deren Dämpfe die Schleimhäute der Nase und der Augen stark angreifen, ist ein höchst unangenehmes Reagens, bei dessen Verwendung man grosse Vorsicht anwenden muss, wenn man es nicht ganz umgehen kann. Dieselbe hat zuerst durch Professor Max Schultze mit Erfolg Anwendung in der Histologie gefunden und ist seitdem vielfach sowohl bei der Untersuchung thierischer als pflanzlicher Gewebe in Anwendung gebracht worden. Sie verdankt ihre Verwendbarkeit der Eigenschaft, dass leicht oxydirbare Stoffe, u. A. Oele und Fette, den wässerigen Lösungen einen Theil ihres Sauerstoffes entziehen und eine niedrigere Oxydationsstufe des Metalles als schwarzen oder

schwarzblauen Körper niederschlagen. Die Fähigkeit, in sehr verdünnten, etwa $^{1}/_{5}$- bis 1 proc. Lösungen das Plasma zu fixiren, theilt dieselbe mit einer Reihe anderer bequemer anzuwendender Substanzen, so dass sie mit wenigen Ausnahmen durch diese ersetzt werden kann.

In der Zoohistologie hat man die Ueberosmiumsäure vorzugsweise zur Darstellung der Epithelialgebilde und ihrer Kittsubstanz, der Nervennetze, der glatten und quergestreiften Muskelfasern, welche sie in ihren jeweiligen Contractionszuständen fixirt, der Netzhautstäbchen, der Ganglienzellen, ferner für sich, wie in Mischung mit Chromsäure und Essigsäure zur Fixirung des Kerngerüstes etc. angewendet, während sie in der Pflanzenhistologie namentlich zur Fixirung der Kern- und Zelltheilungszustände (Strassburger) und bei Untersuchung ganz jugendlicher Gewebe (Parker) diente.

Das die Schleimhäute nicht angreifende, geruchlose Osmiumamid, welches zum Ersatze der Säure empfohlen wurde, soll den gehegten Erwartungen nicht entsprochen haben.

Die Oxalsäure ist von Professor Max Schultze als Reagens bei der Untersuchung von bindegewebartiger Structur empfohlen worden, da sie diese letztere aufquellen und durchsichtig macht, während die eiweisshaltigen Elementarorgane ihre scharfen Umrisse behalten. Man benutzt in der Regel eine gesättigte wässerige Lösung von 1 Theil reiner krystallinischer Säure auf 15 Theile Wasser. Eine etwas stärkere Wirkung äussert die weingeistige Lösung, welche daher für einzelne Fälle statt der ersten zu verwenden sein dürfte.

Ausserdem dient die Oxalsäure bei der später zu besprechenden Carminfärbung, sowie in Verbindung mit Kali zum Nachweis von Pektose in Pflanzengeweben.

Die Essigsäure wird in verschiedenen Concentrationsgraden gebraucht, als deren Grundlage die concentrirte Essigsäure oder der sogenannte Eisessig der Apotheken verwendet werden sollte.

Im concentrirten Zustande oder mit weniger Wasser, 3 bis 4 Theile auf 1 Theil Säure, verdünnt, dient die Essigsäure zum Nachweis der Zellkerne, welche durch ihre Einwirkung viel deutlicher oder durch Zerstörung des Zellkörpers isolirt werden und häufig da noch hervortreten, wo man sie vorher nicht erkennen konnte. Ebenso kann man mittelst derselben innerhalb des Bindegewebes vorkommende Elementarorgane, z. B. Zellen, elastische Fasern, Nerven u. dergl., zur Anschauung bringen, indem sie dem ersteren eine vollkommene Durchsichtigkeit ertheilt. Letzteren Erfolg erreicht man auch, und zwar ohne dass beeinträchtigende Störungen mit unterlaufen, weit vortheilhafter, wenn man eine sehr stark verdünnte Säure mehrere Tage lang einwirken lässt. Einige Tropfen der concentrirten Säure auf etwa 30 g Wasser reichen hier schon aus, und sind die Aufhellungen, welche man bei einer solchen Verdünnung in den quergestreiften Muskeln erreicht, namentlich zum Studium der feinsten Verzweigungen der Nerven in denselben von der grössten Wich-

tigkeit. Auch als Fixationsmittel für Theilungszustände thierischer (Auerbach, Flemming u. A.) und pflanzlicher (Strassburger) Zellkerne und zur Sichtbarmachung des Stranggerüstes ruhender Kerne leistet die Essigsäure in hochgradiger Verdünnung 0,1 bis 1 Proc. gute Dienste.

Als eigentliches so zu sagen analytisches mikrochemisches Reagens wird die Essigsäure vorzugsweise zum Nachweise der kohlensauren Salze in den Geweben und Elementarorganen verwendet.

Holzessig (Acidum pyrolignosum rectificatum) besitzt in mancher Richtung ähnliche Eigenschaften wie die Essigsäure, äussert aber daneben auch noch erhärtende Wirkungen. Mit 2 bis 4 Raumtheilen Wasser verdünnt dient er zur Aufhellung von bindegewebiger Structur namentlich krankhafter Gewebebildungen, zur Sichtbarmachung der Hornhautkörperchen sammt Inhalt, des Nervenverlaufes in Bindegeweben etc., besitzt aber dabei Eigenschaften, welche seine Anwendung zu diesen Zwecken nicht räthlich machen. Dagegen bleibt er ein brauchbares Mittel, um die Knochenerde aus verkalktem Knorpel normaler, krankhafter und fötaler Gewebe auszuziehen.

Ameisensäure, Weinsäure und Milchsäure eignen sich sehr gut, erstere zur Reduction der weiter unten zu besprechenden Vergoldungspräparate, ferner in 1 proc. und schwächeren Lösungen als Fixirungsmittel (Retzius), letztere zur Entkalkung embryonaler Knochen.

Pikrinsäure dient sowohl als Färbe- wie als Erhärtungs- und Fixationsmittel und werden zu diesen Zwecken in der Regel verdünnte wie concentrirte wässerige Lösungen verwendet. Als Färbemittel erweist sie sich vorzugsweise für glatte Muskeln als passend, deren Körperchen gelb werden und schwarze Querstreifen zeigen. Auch bei anderen Geweben ist sie sehr gut zu verwenden; ausserdem ist sie in Verbindung mit Carmin in ausgedehntem Gebrauche (siehe weiter unten).

Neben den reinen oben genannten Säuren werden in neuerer Zeit (Flesch, Flemming u. A.) vielfach Säuregemische mit sehr gutem Erfolge als Fixirungsmittel für das Kerngerüste und Kerntheilungsfiguren verwendet. Als ein solches Gemisch hat sich für die Sichtbarmachung der chromatischen Figur Flemming's dasjenige aus wässerigen Lösungen einer 0,25 proc. Chromsäure mit 0,1 proc. Osmiumsäure und 0,1 proc. Essigsäure, oder von 0,50 proc. Pikrinsäure mit den beiden anderen Lösungen bewährt, während für die Darstellung der „achromatischen Figur" das Gemisch aus 0,2- bis 0,25 proc. Chromsäure und etwa 1 proc. Essigsäure die besten Dienste leisten soll. An Stelle der Essigsäure kann hierbei auch Ameisensäure mit etwa gleichem Erfolge verwendet werden.

Alkalien. — Aetzkalilösung (Kaliumhydroxydlösung), 187 welche als wässerige wie als alkoholische Lösung verschiedener Verdünnungsgrade zur Anwendung kommen kann, muss, da sie gern V

und Kohlensäure aus der Luft anzieht und im Flaschenhalse leicht Kryställchen ausscheidet, in gut schliessenden Flaschen aufbewahrt werden, deren Stöpsel mit Glycerin oder Vaselin eingerieben ist. Dieselbe geniesst einer sehr ausgebreiteten Verwendung bei histologischen Untersuchungen. Wir haben in ihr zunächst ein vortreffliches Macerationsmittel und zwar sowohl für thierische wie für vegetabilische Gewebe, indem sie die die einzelnen Gewebeelemente mit einander vereinigenden Kittsubstanzen löst, ohne die Gewebe selbst merklich anzugreifen. In der Pflanzenhistologie ist das Kali namentlich überall da statt des Schulze'schen Macerationsgemisches zu empfehlen, wo dieses entweder auf zartere Elementarorgane zu zerstörend wirkt, oder wo es dieselben, wie manche Bastzellen etc., brüchig macht. Hier thut das Aetzkali indessen seine Dienste in der Regel erst unter der Einwirkung der Wärme und macht ein kürzeres oder längeres Kochen der Gewebe in der Lösung nöthig. Bei thierischen Geweben bringt es ähnliche Wirkungen schon bei gewöhnlicher Temperatur hervor, wobei dann, da weitere Verdünnungen meist lösend auf die Gewebeelemente wirken, zur Isolirung von Muskel- und Nervenelementen, Drüsencanälchen, Flimmerzellen etc. Lösungen von 20 bis 40 Proc. angewendet werden. Im verdünnten Zustande ist das Aetzkali ein ausgezeichnetes Mittel, um geschichtete Zellstoffhüllen aufquellen und so die Schichtung deutlicher zu machen. Ferner dient es dazu, um manche Substanzen, welche der Zellstoffhülle eingelagert sind, zu lösen und wegzuführen, während es die erstere selbst nur erweicht.

Seiner Einwirkung auf Stärkemehl, welches es stark aufquellen macht, sowie auf manche andere, die Pflanzengewebe undurchsichtig machende Substanzen verdankt dasselbe seinen Gebrauch als aufhellendes Mittel. Zu diesem Zwecke dient am besten eine die Zellwände nicht so stark wie eine wässerige angreifende alkoholische Lösung, welche nach Russow folgendermaassen bereitet wird. Mit concentrirter Kalilauge wird Alkohol von 85 bis 90 Proc. gemischt, bis ein Bodensatz entsteht, dann unter häufigem Umschütteln die Flüssigkeit 24 Stunden stehen gelassen, nach Absetzen abgegossen und zum Gebrauche mit je 2 bis 3 Theilen destillirtem Wasser versetzt. Die aufgehellten Präparate müssen mittelst verdünnter Salzsäure oder Essigsäure neutralisirt und gut ausgewaschen werden.

Als analytisches Reagens hat die Aetzkalilösung durch die Untersuchungen von J. Sachs über den Inhalt der Pflanzenzellen für die Pflanzenhistologie eine hohe Bedeutung gewonnen, indem sie in Verbindung mit schwefelsaurem Kupfer sowohl zum Nachweise von Eiweisssubstanzen als auch von verschiedenen Kohlenhydraten vorzügliche Dienste leistet.

Auch zum Nachweise des Korkstoffes (Höhnel), welcher als gelb gefärbte Tropfen beim Kochen ausgeschieden wird, der Gerbstoffe, welche gelb gefärbt werden, sowie bei der Zerlegung des Chlorophylls in seinen

gelben (Xanthin) und grünen (Chlorin) Bestandtheil (Carl Kraus) lässt sich die Kalilauge verwenden.

Die Aetznatronlösung erleidet eine ähnliche Anwendung, wie das Aetzkali, dem es von manchen Histologen seiner etwas bequemeren und reinlicheren Handhabung wegen vorgezogen wird.

Die Ammoniakflüssigkeit wirkt im Ganzen den beiden genannten Alkalien ähnlich, indessen weniger heftig. Auch möchte ihr, wo es sich um die Abstumpfung von vorher angewendeten Säuren handelt, vor jenem der Vorrang gebühren. In Verbindung mit Salpetersäure dient das Ammoniak zum Nachweis von Eiweisskörpern, sowie der mittleren Platte der sogenannten „Mittellamelle“ (Intercellularsubstanz), indem es (welche Eigenschaft übrigens auch den voranstehenden Alkalien zukommt) die durch jene bewirkte gelbe Färbung vermöge der Bildung von Xanthoproteïnsäure bedeutend erhöht und somit leichter sichtbar macht.

Von alkalischen Erden hat man in neuester Zeit das Kalk- und das Barytwasser für zoohistologische Untersuchungen empfohlen und angewendet.

Das erstere wird namentlich als Macerationsmittel bei den Untersuchungen von Binde- und Sehnengewebe verwendet, wenn man langsamere, erst nach mehreren Tagen erfolgende Wirkungen erzielen will, während das letztere, weit stärker wirkende Mittel überall da gebraucht wird, wo man rascheren Erfolg neben stärkerer Quellung und bedeutenderer Aufhellung wünscht.

188

Salze. — Das Chlornatrium wird vorzugsweise in der Pflanzengewebelehre als sogenanntes morphologisches Reagens verwendet, um die Zellhaut (Primordialschlauch) von der Zellstoffhülle zurückzuziehen und dieselbe so gewissermaassen innerhalb der Gewebe zu isoliren und zur Anschauung zu bringen. Es empfehlen sich hier unter allen Umständen verschieden concentrirte bis zu höchst verdünnten Lösungen.

In der thierischen Histologie wird es in 10 proc. Lösung als Isolirungsmittel von Epithelialgebilden, in 35 proc. Lösung als Erhärtungsmittel und in Verbindung mit Salzsäure (Exner) mit Vortheil zur Entkalkung des Knochengewebes gebraucht. Auch bei der Silberimprägnation spielt es eine Rolle.

Das chlorsaure Kalium bildet, wie wir oben gesehen haben, einen Bestandtheil des Schultze'schen Macerationsgemisches, als welches es auch ebenso wie für sich allein zum Nachweise des Korkstoffes dienen kann.

Ferrocyankalium (gelbes Blutlaugensalz), welches in wässeriger Auflösung Eisenoxydsalze mit blauer Farbe fällt, wird von Cohn in Verbindung mit Salzsäure zum Nachweise des Eisens in den damit imprägnirten Zellwänden des Brunnenfadens (Crenothrix) benutzt, sonst dürfte es sich aus später zu entwickelnden Gründen als Reagens f Eisensalze nicht empfehlen.

Das doppeltchromsaure Kalium (Kaliumbichromat), welches wir bereits in Verbindung mit Schwefelsäure als Macerationsmittel kennen gelernt haben, leistet in wässeriger (auch glycerinhaltiger) Lösung als Erhärtungsmittel ähnliche und, da es nicht so leicht Schimmel bildet, für manche thierische Gewebe wohl noch bessere Dienste wie die Chromsäure. Dagegen ist es als Fixirungsmittel bei Zellkernstudien nach den Erfahrungen Flemming's mit wenigen Ausnahmen (Eizellen) nicht zu empfehlen. Da seine Wirkung indessen eine schwächere und langsamere ist, als diejenige der Chromsäure selbst, so bedarf man auch bei einer Vertretung stärkerer Lösungen, um denselben Erfolg zu erzielen. Auf gleiche Theile Wasser kommt von dem Salze in der Regel die 8- bis 16 fache Menge von derjenigen der reinen Säure.

Als Mischung mit schwefelsaurem Natron, welche als „Müller'sche Augenflüssigkeit“ bekannt ist, ist das doppeltchromsaure Kalium von H. Müller in Würzburg empfohlen worden, um die Retina zu erhärten. Dieselbe besteht aus 2 bis $2\frac{1}{2}$ Gewichtstheilen doppeltchromsauren Kalis und 1 Gewichtstheil schwefelsauren Natrons auf 100 Theile Wasser und leistet auch für viele andere Gewebe, Schleimhäute, Drüsen, Embryonalgewebe etc. gute Dienste, während sie in Verbindung mit der gleichen Menge von Speichel bei mehrtägiger Einwirkung ein vorzügliches Macerationsmittel bildet (Czerny und Langerhans).

Sanio hat das doppeltchromsaure Kalium als Reagens auf Gerbstoff angewendet, welchen es dadurch kenntlich macht, dass es ihm eine dunkelrothbraune Färbung ertheilt.

Uebermangansaures Kalium wird als wässeriges Macerationsmittel für Bindegewebe benutzt und dabei in der Regel mit Alaunlösung vermischt (Exner).

Rhodankalium wird in alkoholischer Lösung und in Verbindung mit Salzsäure zum Nachweise von geringen Mengen Eisen in den Zellwänden angewendet, setzt aber beim Schneiden den Gebrauch von platinirten oder vergoldeten Messerklingen voraus.

Schwefelsaures Aluminium-Kalium, Alaun, wird als wasserentziehendes Reagens sowie bei der Aufhellung pflanzlicher Gewebe angewendet und bildet ausserdem einen Bestandtheil mehrerer Färbemittel.

Eisenchlorid, ebenso essigsaures Eisen und schwefelsaures Eisen bilden in mässig concentrirten Lösungen Reagentien auf nicht zu geringen Mengen von Gerbstoff, welchem dieselbe eine dunkelgrüne (eisengrünender Gerbstoff) oder schwarzblaue (eisenschwärzender Gerbstoff) Farbe ertheilen.

Das schwefelsaure Kupfer dient in concentrirter Lösung in Verbindung mit Aetzkali als mikrochemisches Reagens auf Eiweisssubstanzen sowohl wie auf Zucker, Dextrin und Gummi bei der Untersuchung des Inhaltes von vegetabilischen Geweben. Bei der Anwendung der Lösung, über deren Gebrauchsweise wir uns später näher verbreiten werden, ist

immer aufs Genaueste die Vorsichtsmaassregel zu beachten, dass man das behandelte Präparat, ehe es der Einwirkung des Aetzkalis ausgesetzt wird, auf das Sorgfältigste in einer grossen Menge Wassers auswäscht, damit auch nicht eine Spur des Salzes mechanisch haften bleibt. Die sofortige Reduction von Kupferoxyd würde die Reactionserscheinungen im anderen Falle mindestens unsicher machen.

Essigsaures Kupfer (Grünspan) dient als Reagens auf Harze, welche nach mehrtägigem Liegen in einer wässerigen Lösung eine smaragdgrüne Farbe annehmen (Unverdorben).

Das Kupferoxyd-Ammoniak wurde von Prof. Schweizer in Zürich als Lösungsmittel des Zellstoffes erkannt und dann von Professor Cramer ebendaselbst als mikrochemisches Reagens erprobt und empfohlen. Das gewöhnlich in den Apotheken vorräthige Product ist zu unseren Zwecken nicht zu verwenden, weshalb man sich das Reagens entweder selbst darstellen oder nach Vorschrift darstellen lassen muss. Die von Schweizer hierzu gegebene Vorschrift lautet folgendermaassen: Unterschwefelsaures Kupferoxyd wird mit verdünnter Ammoniaklösung vorsichtig gefällt, der hellgrüne Niederschlag filtrirt und ausgewaschen, und hierauf noch feucht mit concentrirter Ammoniakflüssigkeit zusammengebracht, in welcher sich das basisch unterschwefelsaure Salz — der früher erhaltene Niederschlag — unter Wärmeentwickelung leicht auflöst. Nach dem Erkalten setzen sich Krystalle von unterschwefelsaurem Kupferoxyd-Ammoniak zu Boden, und die über demselben stehende, abzufiltrirende Flüssigkeit enthält nur Kupferoxyd-Ammoniak. Die erhaltene Lösung hebt man zweckmässig in schwarzem Glase oder in dunklem Raume auf, weil sich dieselbe am Lichte leicht zersetzt.

Die genannte Verbindung bildet ein vorzügliches Reagens zur Erkennung des reinen Zellstoffes. Wo derselbe mit anderen Substanzen verunreinigt, wie man sagt, verholzt ist, da bewirkt sie die Lösung erst nach vorhergehender Behandlung der betreffenden Organe mit Aetzkali oder dem Schultze'schen Macerationsgemisch. Da die Einwirkung in der Regel von einer nach und nach eintretenden Quellung der Zellstoffhülle ausgeht, und bei verholzten Zellen, wie beim Stärkemehl, nur diese allein auftritt, so bietet sich in dem Reagens auch in dieser Beziehung ein vorzügliches Untersuchungsmittel, welches in mancher Beziehung den ähnlich wirkenden früher schon genannten vorzuziehen ist.

Das salpetersaure Quecksilberoxydul oder Millon'sche Salz ist in neuerer Zeit wiederholt (Harting) als mikrochemisches Reagens für pflanzenhistologische Untersuchungen empfohlen worden. Zunächst gewährt es ein ausgezeichnetes Mittel, um ein Aufquellen der Zellstoffhüllen zu bewirken und sowohl die Schichtung als die spiralige Streifung dieser letzteren zur Anschauung zu bringen. Dann dient dasselbe auch zum Nachweise von Eiweisskörpern, und dürfte sich, da es nicht für alle Fälle die erforderliche Empfindlichkeit besitzt, namentlich für einzelne Untersuchungen, z. B. des Klebermehles und der sogena

Proteïnkrystalle empfehlen. Man bereitet sich das Reagens, indem man Quecksilber in gleichen Gewichtstheilen concentrirter rauchender Salpetersäure löst und hierauf mit gleichen Raumtheilen Wasser mengt, oder indem man ein Gewichtstheil Quecksilber in zwei Gewichtstheilen einer $4^1/_2$ Aequivalente Wasser enthaltenden Salpetersäure auflöst. Da das Salz nur dann in Lösung bleibt, wenn diese freie Säure enthält, so ist zum Schutze der Objectivsysteme bei seinem Gebrauche das Bedecken der Präparate mit grossen, 18 bis 20 mm Seite haltenden Deckgläsern zu empfehlen.

Das Quecksilberchlorid (Sublimat) wird nur in höchst verdünnten Lösungen angewendet. Eine solche von 1 Theil Sublimat auf 500 Theile Wasser eignet sich ausgezeichnet, um die feinen Protoplasmaströmchen mancher Pflanzenzellen zur Anschauung zu bringen, indem sowohl diese als die Zellkerne und das Wandprotoplasma durch ihre Einwirkung dunkler werden, ohne dass der übrige Zellinhalt eine Störung erleidet. Wendet man stärkere Lösungen an, so wird die Zellhaut (der Primordialschlauch) von der Zellhülle zurückgezogen, während das Reagens mit den Proteïnstoffen eine in Wasser unlösliche Verbindung eingeht und dadurch zum Studium der Proteïnkörner ein gutes Hülfsmittel darbietet. In der thierischen Histologie hat man das Quecksilberchlorid verwendet, um den Achsencylinder der Nervenfasern zu isoliren und zu erhärten.

Die Lösung von salpetersaurem Silber (Höllenstein) ist in neuerer Zeit namentlich auf Empfehlung von v. Recklingshausen, His u. A. vielfach als mikrochemisches Reagens zu der weiter unten zu besprechenden Imprägnation der Gewebe in Aufnahme gekommen. Zu gleichen Zwecken werden auch einige andere Salze von Edelmetallen, wie Goldchlorid, Goldchloridkalium, Goldchloridnatrium, Palladiumchlorid, Platinchlorid in Anwendung gebracht.

Schwefelsaures Anilin oder noch besser Chloranilin werden entweder in wässeriger oder alkoholischer Lösung, ersteres in Verbindung mit verdünnter Schwefelsäure, letzteres mit Salzsäure zum Nachweise der Verholzung pflanzlicher Zellwände angewendet (Wiesner).

189 **Aethyl- und Methylverbindungen.** — Der Aether, Aethyl-Aether, Aethyloxyd dient vorzugsweise als Auflösungsmittel von Harzen, Fetten und ätherischen Oelen, welche in Pflanzenzellen vorkommen, ebenso zum Ausziehen der Fettsubstanzen und zur Auflösung des fetthaltigen Inhaltes der thierischen Gewebe.

Der Alkohol, Aethyl-Alkohol, Aethyloxydhydrat ist einer ausgedehnten Verwendung fähig, und sowohl für den Pflanzen- wie für den Thierhistologen ein sehr schätzbares Reagens. Zunächst dient er bei der Untersuchung von vielen Pflanzengeweben zur Entfernung des Harzes, zur Auflösung flüchtiger Oele und mancher Farbstoffe. Dann wird er in sehr verdünntem Zustande ähnlich benutzt wie die Kochsalz-

lösung. Präparate, welche Luft enthalten, werden durch Einlegen in Alkohol bald von derselben befreit. Ebenso macht sich derselbe da nützlich, wo in Canadabalsam oder in anderen Harzen aufzubewahrenden Präparaten ihr Wasser entzogen werden soll.

Bei den thierischen Gewebeuntersuchungen wird der Alkohol von verschiedenem Gehalte, namentlich aber der absolute Alkohol seiner die Plasmasubstanzen in ihrer lebenden Form fixirenden Eigenschaft halber vorzugsweise als Erhärtungsmittel verwendet und für manche Objecte, z. B. für drüsige Organe, für Gewebetheile aus dem Verdauungscanale, für injicirte Organe der oben genannten Chromsäure vorgezogen. Auch für die Untersuchung saftiger Pflanzengewebe ist derselbe in neuerer Zeit vielfach als Fixationsmittel bei Untersuchungen über Kern- und Zelltheilung etc. in Anwendung gekommen. Da der Alkohol aber die Eigenschaft besitzt, eiweissartige Substanzen durch Gerinnen zu verdunkeln, so war man darauf bedacht, denselben mit solchen Mitteln zu vermischen, welche eine aufhellende Wirkung äussern. Auf diese Weise erhält man Flüssigkeiten, bei welchen die erhärtenden und aufhellenden Eigenschaften Hand in Hand gehen. Derartige Gemische sind zuerst von englischen Mikroskopikern empfohlen und dann auch von deutschen Forschern angewendet worden. Ein Gemisch von 3 Theilen Alkohol und 1 Theil Essigsäure wurde von L. Clarke empfohlen und ertheilt namentlich Rückenmarkspräparaten eine wundervolle Klarheit. Moleschott hat ein stärkeres Gemisch von 1 Raumtheil starker Essigsäure, 1 Raumtheil Alkohol und 2 Raumtheilen destillirtem Wasser, dann ein schwächeres von 1 Raumtheil Essigsäure, 25 Raumtheilen Alkohol und 50 Raumtheilen destillirtem Wasser zur Untersuchung von bindegewebartigen Geweben empfohlen. Für die Untersuchung von Epithelialgeweben soll man nach Beale dem Gemische aus Alkohol und Essigsäure noch Salpetersäure zusetzen. Eine derartige von Beale vorgeschlagene Mischung besteht aus 30 g Wasser, 20 g Glycerin, 60 g Alkohol, 7,5 g Essigsäure und 2 g Salpetersäure. Auch ein Zusatz von Aetznatronlauge und zwar etwa 8 bis 10 Tropfen auf 30 g Alkohol soll nach diesem Forscher neben rascher und starker Erhärtung zugleich eine bedeutende Aufhellung hervorbringen und eine solche Mischung namentlich bei Untersuchungen der Leber, fötaler Verknöcherungen und kalkiger pathologischer Niederschläge gute Dienste leisten.

Als eigentliches mikrochemisches Reagens dient der Alkohol für eine Reihe von Pflanzenstoffen, welche er aus ihren Lösungen auszufällen vermag. So bringt er in Geweben, welche grössere Mengen von Rohrzucker (Saccharose) enthalten, diesen in Form von kleinen sternförmigen Krystallanhäufungen (Bonnier) zum Auskrystallisiren. Inulin wie Hesperidin werden durch denselben als sogenannte Sphärokrystalle oder in sphärokrystallinischen Massen ausgeschieden und Asparagin kann durch mehrmalige Behandlung der betreffenden Gewebe unter dazwischen erfolgendem Eintrocknen zum Krystallisiren gebracht werden.

Eine weitere und ausgedehnte Anwendung findet der Alkohol auch bei den Färbungsmethoden.

Methylalkohol (Methyloxydhydrat) wird in England vielfach statt des Aethylalkohols angewendet. In neuerer Zeit ist derselbe statt des letzteren auch in Deutschland zur Entwässerung solcher Präparate gebraucht worden, welche in Terpentinöl aufgehellt und dann in Canadabalsam aufbewahrt werden sollen.

Chloroform leistet bei der Demonstration des Aetzcylinders der Nervenfasern gute Dienste, ebenso kann es bei dem Nachweise von Fetten, Harzen, flüchtigen Oelen und Wachs Verwendung finden.

Chloralhydrat dient mit Wasser verdünnt bei Untersuchungen des Centralnervensystems und der Netzhaut (Butzke), ferner in 5 proc. Lösung zur Isolirung der glatten Muskelfasern (Lavdowski). In Zusätzen von geringen Mengen bewahrt es gewisse Aufbewahrungsflüssigkeiten und Färbemittel vor dem Schimmeln.

190 **Glycerin.** — Das chemisch reine (wasserfreie) Glycerin kann als wasserentziehendes und aufhellendes Mittel (in diesem Falle auch in Verbindung mit Kali) gebraucht werden. Inulin wird nach längerer Einwirkung in gleicher Weise aus seinen Lösungen ausgeschieden, wie durch Alkohol Zucker, in Form von stark lichtbrechenden Tropfen, welche sich aber bald wieder lösen (Kraus). In Form von Jodglycerin oder in Verbindung mit Wärme wird dasselbe auch bei den Untersuchungen über Proteïnkörner angewendet, in letzterer Weise besonders zur Sichtbarmachung ihrer Einschlüsse.

191 **Aromatische Verbindungen.** — Benzol (oder statt dessen auch das käufliche „Benzin") wird in der Pflanzenhistologie als Lösungsmittel von Fetten und flüchtigen Oelen, ebenso zur Trennung der Gemengtheile des Chlorophylls verwendet, während es bei der Untersuchung thierischer Gewebe nach minutenlangem Einwirken von Alkohol als vortreffliches Aufhellungsmittel für Fettgewebe dienen kann (Toldt).

Phenol (Carbolsäure) eignet sich als antiseptisches Zusatzmittel zu einer grossen Anzahl von dem Verderben ausgesetzten Flüssigkeiten, während es als mikrochemisches Reagens bisher nur zum Nachweise verholzter Pflanzenzellwände, denen dasselbe in Verbindung mit Salzsäure eine blaugrüne Färbung ertheilt, sowie als Aufhellungsmittel bei entwickelungsgeschichtlichen Untersuchungen der Moose (Leitgeb) verwendet wurde.

Xylol ist für die Untersuchungen des Centralnervensystems (Merkel) empfohlen worden, während Thymol als antiseptisches Mittel und zwar in Verdünnungen von 1 Theil auf 600 bis 1000 Theile Wasser dem Phenol vorzuziehen sein soll (Frey), was in gleicher Weise von dem Naphtalin gelten dürfte.

Kreosot bildet ein sehr schnell wirkendes Aufhellungsmittel, welches auf wasserhaltige Präparate mit gleich gutem Erfolge wie auf entwässerte angewendet werden kann.

Phloroglucin, welches bei Dr. Schuchhardt in Görlitz käuflich zu haben ist, ist in wässeriger oder besser in alkoholischer Lösung ein vortreffliches Mittel zum Nachweise der Verholzung pflanzlicher Zellwände (Wiesner), indem es dieselbe, wenn vorher Salzsäure eingewirkt hatte, schon bei sehr kleinen Mengen des Holzstoffes intensiv rosenroth färbt. An Stelle desselben kann auch ein wässeriger Kirschholzextract verwendet werden, welcher eine mehr violette Färbung hervorruft.

Pyroll färbt mit Salzsäure befeuchtete verholzte Zellwände purpurroth, soll sich aber in Lösung nicht gut aufbewahren lassen, während die Reactionsfarbe bald in Schwarzbraun übergeht (Niggl).

192 **Indol.** — Das Indol, eine zur Zeit noch sehr theure (1 dg 5 Mark) Substanz, kann als wässerige oder alkoholische Lösung in gleicher Weise wie das Phloroglucin zum Nachweise der Verholzung pflanzlicher Zellhüllen angewendet werden, indem es solchen unter Mitwirkung von verdünnter Schwefelsäure eine prachtvolle kirschrothe Färbung ertheilt, während reine Cellulose ebenso wie verkorkte Zellwände farblos bleiben (Niggl).

193 **Flüchtige Oele.** — Die flüchtigen Oele werden sowohl in der Pflanzenhistologie wie in der thierischen Gewebelehre zur Aufhellung dunkler Gewebe benützt, und kann man dieselben entweder schon kürzere oder längere Zeit vor der Untersuchung einwirken lassen, oder auch nur als Zusatzflüssigkeit gebrauchen. Terpentinöl, Citronenöl, Wachholderöl u. a. entfalten ihre Wirkung nur bei durch absoluten Alkohol entwässerten Präparaten, während andere eine absolute Wasserentziehung nicht erfordern. Namentlich scheint das Nelkenöl, welches Erhärtungs- und Aufhellungsvermögen in sich vereinigt, sich in dieser Beziehung sehr vortheilhaft zu bewähren. Der Anwendung desselben kommt vorzugsweise auch der Umstand zu statten, dass es sich sowohl mit absolutem Alkohol, als mit Canadabalsam und Dammarlösung leicht und in jedem Verhältnisse mischt, wodurch man bei der Behandlung mit dem Einlegen der betreffenden Präparate mancher Zwischenarbeiten überhoben wird. Dem Nelkenöl ähnlich verhalten sich Cassia-, Anis- und Bergamottöl.

194 **Kohlenhydrate.** — Von den Kohlenhydraten wird der Rohrzucker in Form des gewöhnlichen Syrupus simplex der Apotheken als Reagens verwendet. In der gebräuchlichen Form dient diese Lösung in Verbindung mit concentrirter oder wenig verdünnter Schwefelsäure zum Nachweise eiweisshaltiger Substanzen, denen er eine rosenrothe Färbung ertheilt. Verdünntere Lösungen, welche man je nach Bedürfniss ab-

ändern kann, werden in gleicher Weise als morphologisches Reagens verwendet, wie Chlornatrium, Alkohol etc.; ausserdem können dieselben auch — 3 proc. Lösung — zum Studium durchsichtiger Samenknospen, sowie zu Pollenculturen — 5 proc. — empfohlen werden.

Das Collodium, eine Auflösung des Pyroxylins (Schiessbaumwolle) in Aether, wurde von Professor Pflüger als morphologisches Reagens zum Nachweise des Achsencylinders der Nervenfasern empfohlen.

III. Färbungs- und Imprägnationsmittel.

1. Färbeflüssigkeiten.

195 Diese Flüssigkeiten haben den Zweck, gewissen Theilen der Gewebe oder der Elementarorgane leicht sichtbare Färbungen zu ertheilen, um sie von anderen, mit ihnen vereinigt vorkommenden, sicherer unterscheiden zu können. Auf diese Weise wird die Erkenntniss verwickelter Structuren sowohl als einzelner Inhaltspartien wesentlich erleichtert, und es hat sich daher die mehr und mehr vervollkommnete und erweiterte Färbungsmethode als Hülfsmittel der mikroskopischen Untersuchung einen bedeutenden Ruf erworben und wohlverdiente, vielfache Anwendung gefunden.

Es war Dr. Theodor Hartig, der die Entdeckung machte, dass namentlich die Zellkerne, sowie die eiweissartigen Bestandtheile des Zelleninhaltes ein ansehnlich starkes Vermögen kundgeben, gelöste Farbstoffe aus ihrer Umgebung aufzunehmen und in ihrer Substanz aufzuspeichern. Vor nahezu dreissig Jahren ist denn auch von ihm schon eine Lösung des carminsauren Ammoniaks zum Nachweise von Zellkernen, Protoplasmaströmchen etc. angewendet worden, und er hat uns in der Schrift: „Entwickelungsgeschichte des Pflanzenkeimes“ 1858 näher mit seiner Methode und mit der Darstellung der Carminlösung bekannt gemacht.

Erst viel später als Hartig hat Professor Gerlach diese Methode der Färbung auch in die Zoohistologie eingeführt. Ich weiss nicht, ob Gerlach mit den Hartig'schen Beobachtungen bekannt war, als er die Färbung mittelst Carminlösung auf thierische Gewebe anwendete, oder ob er selbständig darauf geführt wurde. Soviel steht indessen fest, dass die Priorität der Entdeckung des Farbeaufspeicherungsvermögens von Kerngebilden und Eiweisskörpern, sowie die erste Anregung zur Anwendung dieser Untersuchungsmethode dem erstgenannten Forscher gebührt.

Man hat verschiedene Flüssigkeiten in Anwendung gebracht, welche entweder verschiedene Färbungen oder, bei Innehalten desselben Farben-

tones, eine mehr oder minder leichte und sichere Färbung bei verschiedenartigen Geweben bezwecken. Die gebräuchlichen Lösungen werden meistens aus organischen Verbindungen, wie Carmin, Haematoxylin, Anilin etc., hergestellt und bewegen sich vorzugsweise in den Farben Roth, Blau, Violett, Gelb und Grün.

A. Einfache Färbeflüssigkeiten.

Carminlösungen. — Das carminsaure Ammoniak ist die bis in die neuere Zeit wohl am häufigsten angewendete rothe Flüssigkeit und hat sich in den meisten Fällen auch bewährt, obwohl sie in anderen besser durch gute andere Carminlösungen vertreten wird. **196**

Nach Hartig bereitet man sich dasselbe folgendermaassen: Käuflicher Carmin wird mit Wasser angerührt und dann tropfenweise Ammoniakflüssigkeit zugesetzt, bis vollständige Lösung erfolgt ist. Die Lösung wird darauf filtrirt und bei sehr gelinder Wärme bis zur Trockne abgedampft. Das so erhaltene Pulver kann man trocken aufbewahren. Es löst sich in Wasser leicht auf und auch diese Lösung kann man Jahre lang erhalten, ohne dass sie dem Verderben ausgesetzt ist.

Von den verschiedenen Carminpräparaten dieser Art mögen hier nur zwei recht brauchbare erwähnt werden.

Frey's Glycerin-Carmin, eine Modification des Beale'schen Carmins, besteht aus 0,2 bis 0,4 g Carmin, welche in der erforderlichen Menge Ammoniak gelöst und dann mit 30 g destillirtem Wasser, ebenso viel Glycerin und 8 bis 10 g Alkohol versetzt werden. Das neuerdings von Professor Hoyer empfohlene neutrale carminsaure Ammoniak ist auch nach meinen Erfahrungen von all den bekannten unangenehmen Eigenschaften des bisher angewendeten carminsauren Ammoniaks frei und darf als vorzüglich bezeichnet werden. Man bereitet dasselbe in folgender Weise. Man löst 1 g mittelfeinen Carmin in einer Mischung von 1 bis 2 ccm starker Ammoniaklösung und 6 bis 8 ccm destillirtem Wasser und erwärmt auf dem Sandbade in einem Glaskolben so lange, bis das überschüssige Ammoniak verflüchtigt ist. Dieser Punkt ist eingetreten, wenn sich nur noch kleine Bläschen entwickeln und die Lösung eine hellrothe Färbung anzunehmen beginnt. Man lässt nun erkalten und absetzen und trennt den hellrothen Niederschlag durch Filtriren von der ziemlich neutralen dunkleren Flüssigkeit, welche durch Zusatz von etwa einigen Procenten Chloralhydrates für längere Zeit haltbar gemacht werden kann und die für gewisse noch zu erwähnende Zwecke besondere Vorzüge besitzt. Aus der ersteren Flüssigkeit erhält man durch Zusatz des 4- bis 6fachen Volumens starken Alkohols einen voluminösen hellrothen Niederschlag, welcher durch Filtration getrennt, dann gewaschen und getrocknet, ein sich Jahre lang haltendes Pulver

darstellt, welches mittelst destillirten Wassers — namentlich bei Erwärmung — eine klare und mehr ins Scharlachrothe spielende Lösung giebt, die ein sehr starkes Färbungsvermögen besitzt und in dieser Beziehung die gewöhnliche Carminlösung bedeutend übertrifft, während sie durch Zusatz von 1 bis 2 Proc. Chloralhydrat eine längere Zeit dauernde Haltbarkeit erlangt.

Die lilafarbige Carminlösung, von Professor Thiersch namentlich für die Färbung von durch Chromsäure entkalkten Knochen und für Knorpel empfohlen, verlangt zum Ausziehen überschüssigen Farbstoffes der Oxalsäure oder der Borsäure, in Weingeist gelöst. Zu ihrer Darstellung werden 4 Theile Borax in 56 Theilen destillirtem Wasser gelöst, dieser Lösung 1 Theil Carmin zugefügt, hierauf 1 Raumtheil derselben mit 2 Raumtheilen absolutem Alkohol vermischt und filtrirt.

Neutrale Carminlösung, welche sich vorzugsweise zur Behandlung von in Chromsäure gehärteten Objecten eignet, wird nach Perls bereitet, indem man gepulverten Carmin auf einem Wasserbade vorsichtig mit destillirtem Wasser leicht kocht, eine Stunde lang stehen lässt und unter Zurückgiessen der ersten Filtrate auf das Filter so lange filtrirt, bis man eine vollständig klare schön rothe Flüssigkeit erhält.

Grenacher's alkoholische Carminlösung kann vorzugsweise bei in Alkohol erhärteten Geweben Anwendung finden, lässt sich aber recht wohl in weiterem Umfange verwerthen. Sie wird erhalten, wenn man 50 ccm 60- bis 80 proc. Alkohol mit 3 bis 4 Tropfen Salzsäure versetzt, in dieser Flüssigkeit eine Messerspitze voll gepulverten Carmin etwa 10 Minuten lang kocht und dann nach dem Erkalten filtrirt.

Grenacher's Alauncarmin bildet eines der vortrefflichsten Färbemittel für reine Zellkernfärbungen im Ganzen, welche auch bei längerer Einwirkung keine Ueberfärbung hervorbringt und dabei sehr schnell (in 5 bis 10 Minuten) färbt. 1 bis 5 g Alaun oder Ammoniakalaun werden in 100 ccm destillirtem Wasser gelöst und in dieser Lösung $1/2$ bis 1 g gepulverter Carmin 10 bis 20 Minuten lang gekocht. Man erhält so eine tiefrothe, etwas ins Purpurfarbene spielende Flüssigkeit, welche nach dem Erkalten filtrirt und wegen besserer Haltbarkeit mit einer Spur Carbolsäure versetzt wird.

Essigsaure Carminlösung wird in mehreren Modificationen angewendet. Die Grenacher'sche wird bereitet, indem man 1 bis 2 g Borax zusammen mit 0,5 bis 0,75 g Carmin in 100 ccm Wasser kocht, dann der erhaltenen dunkelpurpurfarbenen Lösung unter stetem Umschütteln so lange tropfenweise verdünnte Essigsäure zusetzt, bis die Färbung derjenigen der gewöhnlichen ammoniakalischen Carminlösung gleich geworden, und endlich nach 24 Stunden langem Stehen die klare Flüssigkeit sorgsam abgiesst. Nach Schweiger-Seidel wird gewöhnliches carminsaures Ammoniak bis zur Neutralisation allmälig mit Essigsäure versetzt und dann die weinrothe Flüssigkeit filtrirt. Der Schneider'sche Essigcarmin wird bereitet, indem man in kochende

45 proc. Essigsäure so lange Carmin einträgt, bis sich kein Farbstoff mehr löst, während man nach Frey Carmin in Essigsäure löst, filtrirt und schliesslich mit Wasser nach Bedürfniss verdünnt, oder auch gepulverten Carmin mit durch Essigsäure angesäuertem Wasser (5 Tropfen Eisessig auf 200 ccm Wasser) 10 bis 20 Minuten digerirt und mehrfach bis zu voller Klarheit filtrirt. Wegen besserer Haltbarkeit kann der Lösung dann noch etwas Carbolsäure zugesetzt werden.

Die essigsauren Carminlösungen färben, mit Ausnahme der Frei'schen, sehr rasch — in einigen Minuten — aber diffus, weshalb eine nachträgliche, weiter unten zu besprechende Behandlung der betreffenden Präparate mit durch Salzsäure schwach angesäuertem Glycerin (1 : 200) oder 50- bis 70 proc. Alkohol nöthig wird.

Czokor's Cochenillelösung bereitet man durch Auflösung von 7 g mit gleichviel gebranntem Alaun in einem Porcellanmöser zerriebener Cochenille in 700 g kochendem, destillirtem Wasser (man kocht, bis die Flüssigkeit 400 g beträgt) und Filtriren nach dem Erkalten. Das leicht eintretende Schimmeln kann durch einen geringen Zusatz von Carbolsäurelösung vermieden werden. Nach einem halben Jahre muss die Lösung wiederholt filtrirt und mit Carbolsäure versetzt werden.

Alkoholische Cochenillelösung ist neuerdings vielfach in der zoologischen Station zu Neapel verwendet und von Dr. Paul Meyer auch für solche Objecte empfohlen worden, welche Farbstoffe schwer eindringen lassen. Ich selbst habe sie bei Pflanzengeweben versucht und kann sie nur empfehlen. Die Bereitung geschieht folgendermaassen: Grob zerkleinerte Cochenille wird mit 70 proc. Alkohol (auf 1 g Cochenille 8 bis 10 ccm Alkohol) übergossen, mehrere Tage stehen gelassen und dann filtrirt, so dass man eine klare, tiefrothe Flüssigkeit erhält.

197

Hämatoxylinlösungen. — Das Hämatoxylin (der Farbstoff des Campecheholzes) hat in neuerer Zeit — und zwar mit Recht — als Färbungsmittel in der Thier- und Pflanzenhistologie eine sehr ausgedehnte Verwendung gefunden. Böhmer, welcher die Hämatoxylinfärbung zuerst anwendete, giebt für die Bereitung folgende Vorschrift: Es werden 0,35 g Hämatoxylin in 10 g absolutem Alkohol gelöst und von dieser Lösung tropfenweise so lange zu einer zweiten Lösung von 0,1 g Alaun in 30 g destillirtem Wasser zugesetzt, bis eine schön blauviolette Färbung entsteht. (Frey empfiehlt 1 g Hämatoxylin auf 30 g absoluten Alkohol und 0,5 bis 1 g Alaun auf 30 g destillirtes Wasser.) Die so erhaltene Flüssigkeit muss nun einige Tage offen an der Luft stehen gelassen und dann — sowie auch später von Zeit zu Zeit — filtrirt werden.

Kleinenberg hat eine etwas complicirte Bereitungsweise angegeben, welche im Grunde darauf hinausgeht, eine alkoholische Hämatoxylinlösung mit einer Chloraluminiumlösung zu vereinigen. Ich bereite daher die entsprechende Lösung derart, dass ich eine gesättigte alkoholische Chloraluminiumlösung mit 6 bis 8 Raumtheilen 70 proc. Alkohol verdünne

und tropfenweise eine alkoholische Hämatoxylinlösung zusetze, bis intensiv blauviolette Färbung eintritt. Nach Rindfleisch kann auch eine wässerige Lösung Anwendung finden und zwar in der Art, dass man je eine concentrirte Lösung von Hämatoxylin und Alaun vorräthig hält, beim Gebrauche einer kleinen Menge der ersteren von letzterer Tropfen um Tropfen zusetzt, bis Umwandlung des braunrothen in blauvioletten Farbenton erfolgt und dann mit etwa der fünffachen Wassermenge verdünnt.

Hat man kein Hämatoxylin zur Hand, so kann man sich die Färbeflüssigkeit auch aus dem officinellen Campecheholz-Extract unmittelbar und zwar nach Klein folgendermaassen darstellen: 15 g Alaun werden mit 5 g Extract in einem Mörser sorgfältig gemischt, unter beständigem Umrühren 25 ccm destillirtes Wasser zugesetzt und die Lösung filtrirt. Zu dem erhaltenen Filtrat setzt man 5 g absoluten Alkohol, während der Rückstand wieder mit 15 cm Wasser gelöst, filtrirt und diesem Filtrate 2 g absoluten Alkohols zugesetzt wird. Beide Lösungen werden hierauf gemischt und beim Gebrauche 1 bis 2 Tropfen in ein Uhrschälchen mit destillirtem Wasser gegossen.

198 **Indigocarmin.** — Die Lösung von Indigocarmin hält ihre Farbe in Canadabalsampräparaten sehr gut, findet indessen eine beschränktere Anwendung, als die vorher beschriebenen Flüssigkeiten und eignet sich namentlich zur Färbung der Nervenzellen und der Achsencylinder der Nerven. Man bereitet dieselbe nach der Vorschrift von Thiersch, indem man in einer Oxalsäurelösung von 1 Theil Säure auf 22 bis 30 Theile Wasser käuflich indigoschwefelsaures Kali bis zur Sättigung löst und die erhaltene Flüssigkeit nach Belieben mit Weingeist verdünnt. Concentrirt färbt diese Flüssigkeit, ähnlich wie die Thiersch'sche Carminlösung, sehr schnell und intensiv blau. Ueberschüssigen Farbstoff zieht man mittelst weingeistiger Oxalsäurelösung aus.

199 **Alizarin und Purpurin.** — Zwei in der Krappwurzel enthaltene Farbstoffe erleiden, und zwar ersteres in gesättigter alkoholischer, letzteres in alaunhaltiger Lösung, eine nur beschränkte Anwendung.

200 **Chinoleïnblau, Cyanin.** — Die Lösung von Cyanin in 36 proc. Alkohol vorsichtig mit Wasser verdünnt ertheilt Fettsubstanzen eine tiefblaue, den Zellkernen eine heller blaue bis violettblaue Färbung (Flemming). Nach Ranvier werden ferner glatte Muskeln blau, Nerven blaugrau, Protoplasmasubstanzen blau gefärbt. An in Glycerin eingelegten, im Dunkeln aufbewahrten Pflanzenschnitten hat sich die Kernfärbung bei mir seit einem Jahre recht gut gehalten.

201 **Alcannatinctur.** — Der weingeistige Auszug des Farbstoffes der Wurzel von Alcanna tinctoria ertheilt Harzen sowie Fetten eine blutrothe Färbung (Protoplasma wird schwach rosa gefärbt). Sie dient in der Pflanzenhistologie zum Nachweise dieser Stoffe, namentlich auch der

letzteren in der Grundsubstanz fetthaltiger Samen, welcher die Proteïnkörner eingebettet sind. Für die Thierhistologie dürfte sie sich wohl auch für Fettgewebe etc. empfehlen.

Lösungen von Anilin- und Azofarbstoffen. — Es lag nahe, dass man in der mikroskopischen Färberei auch die Lösungen der genannten Farben schon bald in Gebrauch genommen. Die Urtheile über deren Verwendbarkeit waren und bleiben auch gegenwärtig noch getheilt, indem dieselben meist eine diffuse für Kernfärbung nicht geeignete und dabei wenig haltbare Färbung erzeugen und sonach mit wenigen Ausnahmen nicht an die Stelle der Carmin- und Hämatoxylinlösungen treten können. Indessen eignen sich mehrere ganz vortrefflich zur Sichtbarmachung des Chromatingerüstes der Kerne und ausserdem hat ihnen nach anderen Richtungen hin ihre Eigenschaft, in die Gewebeelemente sowie Inhaltsbestandtheile je nach ihrer Dichtigkeit und ihrer chemischen Constitution mehr oder minder leicht einzudringen, noch weitere Gebiete der Anwendung, namentlich auch bei Doppelfärbungen, gesichert, auf denen sie nicht leicht ersetzt oder entbehrt werden können. 202

Anilinrothlösung. Als solche verwendet man schon lange mit gutem Erfolge eine nach der Vorschrift von Professor Frey bereitete Lösung aus 1 cg krystallisirtem Fuchsin, 20 bis 25 Tropfen absolutem Alkohol und 15 ccm destillirtem Wasser. Diese schön rothe, mässig intensive Lösung soll sehr schnell und in schonendster Weise zarte thierische Gewebe färben und sich selbst für die zartesten Organisationen eignen, wenn man sie mit etwas Wasser verdünnt. Als Gewebetheile, für welche diese Flüssigkeit besonders verwendbar sein soll, werden genannt: Epithelien, Glashäute, Linsen, Glaskörper, junge Knochen und Knorpel, in Bewegung begriffene Flimmerzellen, Ganglienzellen, Drüsenzellen und Nervenfasern, deren Achsencylinder dabei aufs deutlichste hervortritt.

Pflanzengewebe werden in allen den Theilen gefärbt, welche verholzte Zellwände enthalten, ebenso färbt sich die „Intercellularsubstanz", d. h. die mittlere, zwischen den beiden Primärwänden vorhandene Platte der sogenannten „Mittellamelle" auch in den kleinsten noch vorhandenen Mengen intensiv roth.

Saffranin. In neuester Zeit ist von Professor Flemming neben Magdalaroth und Dahlia (Monophenylrosanilin) namentlich die Saffraninlösung als rasch und intensiv färbendes Kernfärbemittel für Untersuchungen über Kern- und Zelltheilung — Differenzirung der „chromatischen Figur" Flemming's empfohlen und bisher mehrseitig — von Strassburger, Tangl und mir auch bei Pflanzenzellkernen — mit gutem Erfolge benutzt worden. Die Lösung kann für manche Zwecke eine wässerige sein, indessen wirkt am sichersten die in folgender Weise bereitete. Man löse 1 g Saffranin in 100 g absolutem Alkohol und vermische diese Lösung, nachdem sie einige Tage gestanden hat, mit 200 ccm

Wasser. Bemerkt sei noch, dass nach gemachten Erfahrungen nicht jedes im Handel vorkommende Saffranin gleich brauchbar ist (mein Präparat ist aus der hiesigen Materialhandlung von Fr. Schaefer bezogen und hat sich vollkommen bewährt).

Eosin. Die Eosinlösung — 0,8 bis 1 g Farbstoff auf 100 g absoluten Alkohol, oder 1 g Farbstoff auf 200 bis 1000 ccm Wasser — ist von Fischer in die Mikrochemie eingeführt und seitdem mit mehr oder weniger Erfolg verschiedenseitig angewendet worden. Auch bei der Doppelfärbung wird dieses Färbemittel häufig angewendet.

Das dem Eosin nahe stehende Rose bengale hat sich in wässeriger Lösung zur Färbung in Chromsäure gehärteter Gewebe (namentlich Rückenmark, Bindesubstanz und Muskelgewebe) als brauchbar erwiesen. Auch soll es sich für doppelte und dreifache Färbungen mit Jodgrün und Lyonerblau gut eignen.

Corallin. Das Corallin, ein ziemlich zusammengesetzter Körper, dessen Hauptbestandtheil Rosolsäure bildet, ist in Natroncarbonat (kohlensaurem Natron) gelöst, in neuester Zeit von Szyszylowicz als Reagens auf Pflanzenschleime empfohlen worden, von denen es den Stärkeschleim stark und dauernd, den Celluloseschleim kälter und weniger dauerhaft (die Farbe ist mit heissem Alkohol leicht auszuziehen), Gummischleim mehr oder weniger intensiv färben soll, während Gummi, Zellwände (?) und Protoplasma ungefärbt bleiben. Die mit Corallin gefärbten Präparate lassen sich nicht oder doch nur kurze Zeit unverändert aufbewahren.

Blaue Anilinlösung. Diese Anilinlösung wird nach Frey erhalten, indem man käufliches lösliches Anilinblau, welches unter verschiedenen Namen im Handel vorkommt, so lange mit Wasser versetzt, bis man eine tiefe Kobaltfarbe erhält. Statt dessen kann man auch 2 cg lösliches Anilinblau in 25 ccm destillirtem Wasser lösen und dann 20 bis 25 Tropfen Alkohol zusetzen. Diese Flüssigkeit soll sehr rasch und intensiv färben, und die Farbe sich sowohl in Wasser wie in Alkohol und Glycerin erhalten. Als Gewebetheile, für welche sich blaue Anilinlösung vorzugsweise eignet, werden von Frey Lymphdrüsen, Milz und Darmwandungen, Epithelzellen, namentlich aber Gehirn- und Rückenmarkspräparate genannt. Bei Untersuchungen der Pflanzengewebe wurde dasselbe neuerdings mit Fuchsin bei Doppelfärbungen benutzt.

Methylviolett ist für den Nachweis von Amyloidsubstanzen in thierischen Geweben empfohlen und verwendet worden, während Dr. Koch dasselbe als vorzügliches Färbemittel für Bacterien verwendet hat, welche die Lösung so rasch und vollständig aufnehmen, dass sie in Vermischung mit kleinen Fettkörpern und dergleichen sofort erkannt werden können.

Gentianaviolett ist von Weigert als vorzügliches Kernfärbemittel für in Chromsäure fixirte Präparate empfohlen worden. Dasselbe giebt nach Flemming denen des Saffranins gleichkommende sehr scharfe und schöne Färbungen, die aber dunkler sind als jene und sich deshalb mehr für isolirte oder in sehr dünnen Schichten vorkommende Kerne eignen.

Methylgrün, Jodgrün, Malachitgrün und Solidgrün. — Ersteres ist in 0,5- bis 1 proc. Lösung als vorzügliches Färbemittel für das Centralnervensystem und in Verbindung mit 1 proc. Essigsäure (Strassburger) für Studien über vegetabilische Kerntheilung empfohlen worden und leistet nach meinen Erfahrungen gute Dienste. Die beiden letzteren eignen sich ausserdem noch besonders zur Demonstration der Kernkörperchen (Nucleoli). Auch bei der Doppelfärbung finden dieselben Verwendung.

Anilinbraun ist von Dr. Koch als Lösung in gleichen Theilen von Glycerin und Wasser für Bacterienfärbung empfohlen worden, während Weigert das Bismarckbraun in durch Kochen erhaltener concentrirter wässeriger, von Zeit zu Zeit zu filtrirender, Mayzel in verdünnter essigsaurer Lösung als vorzügliches Kernfärbemittel für in Glycerin oder Harzlösungen aufzubewahrende Präparate bewährt gefunden hat.

Anilinschwarz und Anilinblauschwarz wurden in neuerer Zeit in 0,5- bis 2 proc. wässerigen Lösungen zur Färbung von Gehirn- und Rückenmarksschnitten (Arbuckle, Lewis, Sankey) verwendet, bei denen die Kerne schwarz, die Zellkörper und Zellfortsätze purpurroth, die übrigen Elemente hell bläulich-purpurroth werden sollen. Für Färbung von Pflanzenzellkernen, namentlich zu dem Studium der feineren inneren Structur hat Errera das im Handel unter dem Namen „Nigrosin“ vorkommende, in Wasser lösliche Anilinschwarz angewendet und angelegentlich empfohlen.

203 **Pikrinsäure.** — Die Pikrinsäure, welche wir schon als Erhärtungsmittel kennen lernten, ertheilt zugleich den Geweben und ebenso den Zellkernen eine leuchtend gelbe Färbung und macht die Zellwände, z. B. von glatten Muskeln, dunkler und schärfer hervortreten.

204 **Molybdänsaures Ammoniak.** — Eine Lösung von 5 g molybdänsaurem Ammoniak in 100 ccm destillirtem Wasser (Krause) färbt thierische Gewebe unter Einfluss des Lichtes binnen 24 Stunden graublau, nach folgender Einwirkung von 1- bis 15 proc. Gerbsäure- oder 20 proc. Pyrogallussäurelösung braun.

B. Zusammengesetzte Färbeflüssigkeiten.

Die zusammengesetzten Färbeflüssigkeiten haben den Zweck, durch einmaliges Einlegen des betreffenden Objectes verschiedene Färbung einzelner Elemente zu bewirken und dieselben dadurch schärfer von einander abzuheben, oder auch einen auf andere Weise nicht zu erzielenden Farbenton hervorzurufen.

205 **Pikro-Carmin.** — Di[illegible] von Pikro-Carmin bringt Doppelfärbur[illegible] gewisse Gewebetheile, nament-

lich die Zellkerne roth, andere gelb oder gelbroth (Protoplasma) färben, wobei jedoch zu bemerken ist, dass sich die gelbe Farbe durch Wasser auswaschen lässt, während dieselbe in Glycerin erhalten bleibt. Man kann eine einfache alkoholische Lösung des im Handel vorkommenden krystallisirten Pikro-Carmins anwenden, oder sich eine wässerige Lösung nach einer der folgenden Methoden bereiten. Nach Ranvier trägt man gewöhnliche ammoniakalische Carminlösung in eine concentrirte wässerige Pikrinsäurelösung ein, bis dieselbe neutral wird, dann dampft man auf $^1/_5$ der Flüssigkeit ein; von dem sich hierbei ausscheidenden Carmin filtrirt man ab und dampft das erhaltene Filtrat zur Trockne ein. 1 g des erhaltenen rothgelben Pulvers wird dann in 100 ccm destillirtem Wasser gelöst und die Lösung von Zeit zu Zeit filtrirt. Nach Weigert werden 2 g Carmin mit 4 g Ammoniak übergossen und 24 Stunden an einem vor Verdunstung geschützten Orte stehen gelassen, hierauf fügt man 200 g concentrirter wässeriger Pikrinsäurelösung zu und lässt wiederum 24 Stunden lang stehen, worauf vollständige Lösung erfolgt sein wird. Dieser Lösung wird so lange tropfenweise Essigsäure zugesetzt, bis der erste schwache Niederschlag eintritt, dann nach wiederholtem 24 stündigen Stehen etwas Ammoniak zugegeben, worauf die geklärte Flüssigkeit, der man eine Spur Carbolsäure zusetzen kann, zum Gebrauche fertig ist.

Das oben beschriebene Hoyer'sche carminsaure Ammoniak kann ebenfalls zur Herstellung eines haltbaren Pikro-Carmins benutzt werden, welches sämmtliche Vortheile des gebräuchlichen Präparates in sich vereinigt und sich in jeder Beziehung vollkommen bewährt. Dasselbe wird erhalten, wenn man das mittelst Alkohol ausgefällte Carminpulver in einer concentrirten Lösung von neutralem pikrinsaurem Ammoniak löst und zum Zwecke erhöhter Haltbarkeit einige Procent Chloralhydrat zufügt.

206 **Pikro-Anilin.** — Werden 100 Raumtheile einer gesättigten wässerigen Pikrinsäurelösung mit 3 bis 5 Raumtheilen einer concentrirten Lösung von Anilinblau gemischt, so erhält man eine schön grüne Lösung, welche grüne Kernfärbung hervorbringt (Tafani), deren Erhaltung beim Einlegen in Glycerin wie in Canadabalsam einen geringen Zusatz von Pikro-Anilin zu dem Glycerin oder dem als Waschmittel dienenden Alkohol erfordert. Auch für Differenzirung verholzter und nicht verholzter Pflanzengewebe leistet die Mischung nach meinen Erfahrungen gute Dienste.

207 **Indigcarmin und Carmin oder Pikrinsäure.** — Die weiter oben beschriebene Indigcarminlösung wird mit einer ammoniakalischen Carminlösung in dem Verhältnisse gemischt, dass eine violette Farbe entsteht, wobei etwa ausfällender Carmin durch tropfenweisen Zusatz von Ammoniak gelöst werden muss. Eine ähnliche Mischung erhält man, wenn Borax-Carmin (10 g Carmin, 5 g Borax und 80 ccm Wasser) und

Borax-Indigcarmin (5 g Indigcarmin, 5 g Borax und 80 ccm Wasser) mit einander vereinigt werden. Diese Mischungen färben von Gehirnsubstanz das Nervenmark blau, die Blutkörperchen grün und die übrigen Elemente roth, an entkalkten Knochenschnitten die Knochensubstanz blau, die übrigen Theile roth. Die Mischung von Indigcarmin und Pikrinsäure färbt Bindegewebesubstanz blau, Epithelialgewebe dagegen gelb.

Eosin und Hämatoxylin. — Man bereitet die Mischung aus gleichen Raumtheilen einer gesättigten alkoholischen Eosinlösung und chemisch reinem Glycerin, welchen man so lange Hämatoxylinlösung hinzufügt, bis die bekannte Fluorescenz der ersteren fast verschwunden erscheint. Das Ganze wird filtrirt. In dieser Flüssigkeit färbt sich das Bindegewebe perlgrau, elastische Fasern und Blutkörperchen dunkelroth, die Zellkerne violett. Protoplasmen, Achsencylinder und Nervenfasern hell rosa. Zum Einschluss so gefärbter Präparate kann nach entsprechender Vorbehandlung Glycerin oder Canadabalsam verwendet werden. 208

Anilin-Violett. — Diese von Hanstein in die Pflanzenhistologie eingeführte Mischung besteht aus etwa gleichen Theilen von Methylviolett und Fuchsin, welche in Alkohol gelöst werden und eignet sich vorzugsweise zum Sichtbarmachen der verschiedenen Elemente und Inhaltsbestandtheile zusammengesetzter Gewebe, indem z. B. die verholzten Zellmembranen mehr oder minder stark violett, das Protoplasma blauviolett, Gummiarten und Zellkerne roth, Harze rein blau gefärbt werden. 209

Eine ähnliche Mischung empfiehlt Gilbert. Man bereitet sie aus: 1 dg Fuchsin, gelöst in 150 g Alkohol, 1 dg Anilinblau, gelöst in 200 g mit 2 bis 3 Tropfen Essigsäure angesäuertem Alkohol, und Mischung von 7 Theilen der ersteren mit 2 Theilen der letzteren Flüssigkeit.

2. Imprägnationsmittel.

Die Imprägnationsmittel bestehen aus Lösungen von leicht reducirbaren Metallverbindungen, — salpetersaures Silber, Goldchlorid, Goldchloridkalium, Chlorpalladium, Berlinerblau und Ueberosmiumsäure — welche sich in Form von kleinen Körnchen in gewissen Gewebetheilen niederschlagen lassen und denselben dadurch eine bestimmte Färbung ertheilen.

Salpetersaures Silber (Höllenstein) wird in der Regel in 0,5- bis 2 procentigen wässerigen oder alkoholischen Lösungen, seltener in trockenem Zustande und zwar wegen des wenig tiefen Eindringens nur auf ganz dünne Schnitte angewendet. Statt der gebräuchlichen Lösung ist von Alferow der Zusatz von 10 bis 12 Tropfen Pikrin-, Citronen-, Essig- oder Milchsäure zu einer Silberlösung von 1 : 800 empfohlen worden. 210

211 **Goldchlorid und Goldchloridkalium.** — Die von Cohnheim verwendete Lösung von Goldchlorid besteht aus 1 Gewichtstheil Goldchlorid auf 100 bis 200 Gewichtstheile destillirten, mit einigen Tropfen Essig- oder Salzsäure angesäuerten Wassers, während Bastian 1 Theil Goldchlorid in 2000 Theilen destillirten Wassers löst und je 70 ccm der Lösung mit je einem Tropfen Salzsäure versetzt. Goldchloridkalium wird in sehr schwachen Lösungen von etwa 1 bis 2 ccm des Salzes auf 100 ccm Wasser (Gerlach und Arnold) angewendet und für manche Gewebe dem Goldchlorid vorgezogen.

212 **Chlorpalladium (Palladiumchlorür)** wurde von F. E. Schultze in Lösungen von 1 Gewichtstheil des Salzes auf 800 bis 1500 Gewichtstheile mit etwas Salzsäure angesäuerten destillirten Wassers empfohlen; man kann indessen auch die im Handel vorkommende braune Lösung benutzen, wenn man dieselbe soweit mit destillirtem Wasser verdünnt, bis sie eine hell weingelbe Farbe angenommen hat.

213 **Schwefelsaures Eisenoxydul (Eisenvitriol)** in 0,5 procentiger und **Ferrocyankalium (gelbes Blutlaugensalz)** in 1 procentiger Lösung werden in Aufeinanderfolge angewendet (Leber), um in gewissen Geweben Berlinerblau niederzuschlagen.

214 **Ueberosmiumsäure (Osmiumsäure) und Osmiamid,** die wir schon bei den Erhärtungsmitteln besprochen haben, finden und zwar erstere in 1- bis 2 procentiger, letzteres in 0,1 procentiger Lösung auch als Imprägnationsmittel Anwendung.

IV. Injectionsmassen.

215 Die Injectionsmassen bestehen im Wesentlichen aus einer warm oder kalt anzuwendenden Flüssigkeit, der eine färbende Substanz beigemengt ist.

Eine brauchbare Injectionsmasse muss einen solchen Grad der Flüssigkeit besitzen, dass sie in die feinsten Haargefässe einzudringen vermag, ohne durch deren Wandungen zu diffundiren. Ihre Färbung muss eine durch die ganze Masse gleichmässige, und der Farbstoff so fein vertheilt sein, dass er nicht körnig oder klumpig erscheint, sondern eine zusammenhängende gleichförmige Masse bildet; ferner muss der Farbenton so entschieden hervortreten, dass die feinsten Gefässverzweigungen, bei auffallendem sowohl als bei durchgehendem Lichte scharf und bestimmt vor ihrer Umgebung hervortreten. Verwendet man in der Wärme flüssige, beim Erkalten erstarrende Massen, so darf dieses Erstarren nur soweit gehen, dass es zwar die bequeme und saubere Führung von Schnitten gestattet, ohne aus den injicirten Hohlräumen hervorzuquellen, nicht

aber die Masse so verändern, dass dadurch dem Messer ein zu bedeutendes Hinderniss in den Weg gelegt wird.

Die Färbemittel für jegliche Art der Injectionsflüssigkeiten müssen derart beschaffen sein, dass sie weder durch die Einwirkung des Lichtes, noch durch diejenige des Inhaltes der betreffenden Gewebetheile, noch durch die Flüssigkeit, in welcher das Präparat aufbewahrt wird, irgend eine Veränderung erleiden, noch sich leicht lösen, weil sie sonst durch die durchdringbaren Gefässwände austreten und das Präparat verderben würden. Aus diesem Grunde wählt man dazu am besten metallische Farben, welche in der Flüssigkeit suspendirt bleiben. Je nachdem diese in einem mehr grobkörnigen, in einem höchst fein vertheilten oder in gelöstem Zustande erhalten werden können, bilden sie die sogenannten opaken, nur für die Beobachtung bei auffallendem Lichte brauchbaren, oder die transparenten für durchgehendes Licht anwendbaren Färbemittel. Von den unorganischen Farbstoffen sind es vorzugsweise der feinst vertheilte Zinnober, das chromsaure und kohlensaure Blei, welche für opake, dann das frisch gefällte, höchst fein vertheilte Berlinerblau, welche für transparente Mischungen verwendet werden. Von den organischen Farbstoffen hat vorzugsweise der Carmin als transparentes Färbemittel Anwendung gefunden, während die Anilinfarben wegen ihrer geringen Beständigkeit nur seltener gebraucht werden.

Ich lasse nun zunächst die verschiedenen warm zu verwendenden Injectionsmassen nach ihren Farben folgen, und werde dann die kalten Injectionsflüssigkeiten im Zusammenhange aufführen.

1. Warme Injectionsmassen.

216 Man hat zu warmen Injectionsmassen manche, bei höherer Temperatur flüssige, bei gewöhnlicher Temperatur erstarrende feste Körper, wie Wachs, Stearin, Cacaobutter, dann Harze, bis zur Syrupsdicke eingedampften, mit etwas reinem Wachs versetzten Copal-, Mastix- oder Terpentinfirniss und dergleichen empfohlen, von denen sich aber — ausgenommen zur Herstellung trocken aufzubewahrender, für schwache Vergrösserungen bestimmter Präparate — keine als vollkommen dem Zwecke entsprechend bewährt hat. Eine Auflösung von Gelatine oder möglichst reinem, farblosem kölnischem Leime scheint, soweit mir bekannt geworden, namentlich für feinere thierische Präparate, den besten Erfolg zu gewähren.

Eine derartige Lösung bereitet man sich auf folgende Weise: Die zerkleinerten Täfelchen der Gelatine oder des Leimes werden erst einige Stunden in Wasser eingeweicht und dann, nachdem das erste Wasser abgegossen ist, in etwa der vier- bis zehnfachen Menge erneuten Wassers bei einer Temperatur von 50 bis 55° C. über dem Wasserbade gelöst. Die Gelatinelösung kann man dann in noch warmem und flüssigem Zu-

stande unmittelbar mit dem betreffenden Farbstoffe verbinden, eine Lösung aus Leim dagegen muss vorher durch ein Tuch filtrirt werden, um sie von etwa darin vorkommenden, verunreinigenden Substanzen zu befreien.

Bei der Anwendung wird die Masse, welcher man, um völliges Austrocknen zu verhüten, 5 bis 10 Proc. Glycerin zusetzen kann, immer wieder über dem Wasserbade bei der oben erwähnten Temperatur erwärmt und flüssig gemacht. Dieselbe hält sich indessen nur kurze Zeit, ohne durch Schimmelpilze oder Bacterien veranlasste Zersetzungen zu erleiden, und man thut daher gut, sich entweder nur eine so grosse Menge zu bereiten, als man gerade bedarf, oder die Zersetzung durch Zugabe einer fäulnisswidrigen Substanz zu verhüten. Unter diesen ist nun das Chloralhydrat von Professor Hoyer in Warschau als ein solches erkannt worden, welches bei Zusatz von einigen Gewichtsprocenten weder die erforderlichen Eigenschaften der Injectionsmasse im geringsten beeinträchtigt, noch die Beschaffenheit der zu injicirenden Gewebe in irgend einer Weise verändert. Die auf Wochen bis Monate dauernde Haltbarkeit gestattet dann noch ferner sich gleich grössere Mengen mit dem Färbemittel versehener, zur unmittelbaren Verwendung fertiger Massen herzustellen.

217 **Zinnobermasse.** — Unter den rothen Massen ist die mittelst Zinnober gefärbte für solche Präparate, welche bei auffallendem Lichte beobachtet werden sollen, die geeignetste, indem derselbe der Mischung erstlich eine sehr intensive Farbe ertheilt und dann sich sehr gleichmässig in der Flüssigkeit verbreitet. Hauptsache ist dabei, dass der Stoff die erforderliche Feinheit besitzt, so dass sich selbst unter mittelstarken Vergrösserungen keine Körner von erheblicher Grösse wahrnehmen lassen. Da indessen der käufliche Zinnober in der Regel diese Eigenschaft nicht besitzt, so muss man sich denselben eigenhändig zubereiten. Man reibt ihn zu dem Ende mit etwas Wasser in einem Achat- oder Stahlmörser fein ab, und schlämmt dann so lange, bis man eine Masse von der gewünschten Feinheit erlangt hat. Ein Theil des so dargestellten Zinnobers auf 8 Theile einer concentrirten Gelatine- oder Leimlösung soll nach Harting ein passendes Verhältniss für eine brauchbare Injectionsmasse bilden.

Der Zusatz der Farbe zu der Lösung muss nach und nach unter beständigem Umrühren geschehen, und es darf die Masse als gelungen betrachtet werden, wenn sie ein gleichförmiges, zusammenhängendes schönes Roth zeigt.

218 **Carminmasse.** — Für eine transparente äusserst haltbare rothe Injectionsmasse ist die Carminmasse vorzüglich geeignet, sie kann indessen bei sorgfältiger, die sonst drohende Durchschwitzung ausschliessender Zubereitung auch statt des Zinnobers verwendet werden, da dieselbe eine gleich hohe Färbungskraft, und vor diesem ausserdem noch das voraus hat, dass sie ein weit geringeres specifisches Gewicht besitzt und

sich deshalb nicht so leicht zu Boden setzt. Man verwendet den Farbstoff entweder in Pulverform oder in Lösung. Als höchst fein zertheiltes Pulver wird der Carmin nach der oben mitgetheilten Vorschrift erhalten und dann mit etwas wenigem Wasser vermischt einer concentrirten Leimlösung zugesetzt. In Form von Lösung wurde derselbe von Professor Gerlach zuerst angewendet und empfohlen. Nach der von diesem Forscher gegebenen Vorschrift verfährt man bei der Bereitung der Injectionsmasse folgendermaassen: Man löst 10 Gewichtstheile feinen Carmins in 8 Gewichtstheilen Wasser und einem Gewichtstheile Aetzammoniak auf und lässt diese Lösung mehrere Tage offen an der Luft stehen, damit sich das überschüssige, nachtheilig auf die Gelatine wirkende Ammoniak verflüchtigt. Hierauf verbindet man den Farbstoff mit einer Lösung von 6 Gewichtstheilen Gelatine in 8 Gewichtstheilen Wasser und setzt einige Tropfen Essigsäure zu.

Professor Frey hat diese Vorschrift mit gutem Erfolge folgendermaassen abgeändert: 2 bis 2,5 g feinster Carmin wird mit einer grösseren oder kleineren Tropfenzahl vorher auf eine bereit zu haltende Essigsäure titrirten Ammoniaklösung und etwa 15 ccm destillirtem Wasser in einer Schale unter Reiben gelöst, die erhaltene Lösung filtrirt (hierzu sind einige Stunden erforderlich und es erfolgt ein Ammoniakverlust durch Verflüchtigung), das Filtrat unter Umrühren in eine concentrirte Lösung feinen Leimes eingetragen und die Mischung auf dem Wasserbade etwas erwärmt. Fügt man nun dieser Mischung die zur Neutralisirung des Ammoniaks vorher bestimmte Anzahl Tropfen von Essigsäure langsam und unter Umrühren hinzu, so erhält man den Carmin in saurer Leimlösung ausgefällt und die Masse ist zum Gebrauche fertig.

Die aus der ersten Filtration erhaltene Hoyer'sche Carminlösung lässt sich mit der concentrirten Gelatinelösung sehr gut zu einer transparenten Injectionsmasse verbinden, wenn man die entsprechende Menge der ersteren hinzufügt, auf dem Wasserbade so lange digerirt, bis die dunkelrothe Färbung in eine hellere übergeht, dann 5 bis 10 Raumtheile Glycerin und etwa 2 Proc. Chloralhydrat zusetzt und durch Flanell filtrirt.

Harting's gelbe Masse. — Diese gelbe Injectionsmasse wird mittelst chromsauren Bleioxyds hergestellt und nach der von Harting gegebenen ganz genau einzuhaltenden Vorschrift in folgender Weise bereitet: 15 g Bleizucker werden in so viel Wasser gelöst, dass das Ganze dem Volumen von 80 ccm entspricht; dann löst man 10 g rothes chromsaures Kalium in so viel Wasser, dass die Lösung das Volumen von 150 ccm erreicht. Diese beiden Lösungen mischt man hierauf, und zwar je 1 Raumtheil der ersteren mit 2 Raumtheilen der anderen, in einem Becherglase, rührt die Mischung einige Augenblicke stark um und verbindet sie nun erst mit 2 Raumtheilen einer concentrirten Leim- oder Gelatinelösung.

219

Die auf solche Weise gewonnene Injectionsmasse, welche übrigens zu den sogenannten opaken gehört, soll sich vor allen anderen dadurch auszeichnen, dass sie leicht in die feinsten Gefässverzweigungen dringt und neben einer lebhaften Färbung einen sehr gleichmässigen Zusammenhang besitzt. Sie wird daher da, wo man nur von einer einfachen Injection Anwendung zu machen hat, von manchen Mikroskopikern den übrigen opaken Massen vorgezogen.

220 **Thiersch's transparente Masse** wird folgendermaassen dargestellt: Eine Lösung von 1 Theil einfach chromsauren Kaliums in 11 Theilen Wasser wird im Verhältniss von 1 : 4 (etwa 25 ccm auf 100 ccm), dann eine gleich starke Lösung von salpetersaurem Bleioxyd im Verhältniss von 2 : 4 (50 ccm auf 100 ccm) mit einer gesättigten Gelatinelösung verbunden, beide Massen dann bei einer Temperatur von 25 bis 32° C. langsam und unter beständigem Umrühren vereinigt, etwa eine Stunde lang auf 70 bis 100° C. auf dem Wasserbade erwärmt und schliesslich durch Flanell filtrirt. Man erhält so eine schöne gelbe Masse, welche indessen nach längerem Stehen abermaliges Kochen und Filtriren erfordert.

221 **Hoyer's transparente Masse.** — Eine in den Capillaren gelb, in den gröberen Gefässen bräunlich erscheinende Injectionsmasse erhält man nach Hoyer, wenn man eine concentrirte Gelatinelösung mit dem gleichen Volumen einer 4 procentigen Höllensteinlösung versetzt, erwärmt und darauf — zur Reduction des Silbers — eine geringe Menge wässeriger Pyrogallussäure und endlich Glycerin und Chloralhydrat in oben erwähntem Verhältnisse hinzufügt. Die graubraun erscheinende Masse verändert sich in Alkohol, Chromsäure, chromsaurem Kali, Essigsäure etc. nicht, so dass die damit hergestellten Präparate in verschiedenen Flüssigkeiten erhärtet werden können.

222 **Harting's blaue Masse.** — Nach Harting bereitet man sich ein höchst fein in der Leimlösung vertheiltes Berlinerblau in folgender Weise: 105 g schwefelsaures Eisenoxydul werden in 600 bis 700 ccm Wasser gelöst und, bei mässiger Wärme, unter Zusatz von 18 g Schwefelsäure von 1,85 specif. Gewicht und der erforderlichen Menge Salpetersäure in das Oxydsalz umgewandelt; dann setzt man noch so viel Wasser zu, dass das Ganze das Volumen von 1200 ccm erreicht. Hierauf löst man 115 g Ferrocyankalium (gelbes Blutlaugensalz) in soviel Wasser, dass die Lösung dem Volumen von 2400 ccm Wasser gleichkommt. Endlich werden 2 Raumtheile der zuletzt bereiteten Lösung mit gleichen Raumtheilen einer concentrirten Leimlösung vermischt, unter beständigem Umrühren 1 Raumtheil der Eisenoxydlösung tropfenweise eingetragen und durch ein Tuch filtrirt.

Diese höchst feinkörnige und leicht eindringende Injectionsmasse hat nur den einen Nachtheil, dass sie sich in Folge von dem Natrongehalte des Blutes etwas entfärbt. Um diesen Uebelstand zu vermeiden,

setzt man derselben soviel Weinsteinsäure zu, als gerade hinreicht, um den Natrongehalt des Blutes zu sättigen.

W. Müller's Masse. — Als sehr ausgezeichnet wurde in dem Archiv von Max Schultze von Professor W. Müller eine Injectionsmasse empfohlen, welche aus der Auflösung von 1 Theile Leim in 8 Theilen einer nicht zu concentrirten Lösung des sogenannten löslichen Berlinerblaues besteht. Das letztere bereitet man sich leicht selbst auf folgende Weise: Eine Auflösung von Ferrocyankalium (gelbes Blutlaugensalz) wird mit einer Eisenoxydsalzlösung in der Weise gefällt, dass in der Flüssigkeit ein Theil des Blutlaugensalzes unzersetzt bleibt. Der Niederschlag von Berlinerblau wird hierauf auf dem Filter so lange ausgewaschen, bis das Waschwasser eine hochblaue Färbung annimmt. Alsdann ist das Berlinerblau in seine lösliche Modification übergetreten und behält getrocknet seine Auflöslichkeit in Wasser bei. 223

Beale's Berlinerblau. — Das sogenannte Beale'sche Berlinerblau wird aus Ferrocyankalium (gelbem Blutlaugensalze) und Eisenchlorid bereitet. Man löst zu dem Ende 1 g des ersteren Salzes in 30 ccm Wasser und verdünnt hierauf 1,9 bis 2,5 g der Eisenchloridtinctur der englischen Pharmacopoe mit weiteren 30 ccm Wasser. Die Lösung des Blutlaugensalzes vermischt man zuerst mit der Leimlösung, setzt diesem Gemisch die Eisenchloridlösung unter beständigem Umrühren tropfenweise zu und filtrirt schliesslich durch ein Tuch. 224

Thiersch's Berlinerblau. — Man bereitet sich kalt gesättigte Lösungen von schwefelsaurem Eisenoxydul (Eisenvitriol), eine gleiche von Ferridcyankalium (rothes Blutlaugensalz) und von Oxalsäure, ferner eine warme, gesättigte Gelatinelösung. Nun vermischt man je 6 ccm der ersten, 12 ccm der zweiten und dritten Lösung mit je 15 und 30 g der Leimlösung und trägt dann nach Abkühlung auf 25 bis 30° das erste Gemisch in das zweite unter beständigem Umrühren ein. Nach vollständiger Fällung erhitzt man einige Zeit die tiefblaue Masse im Wasserbade auf 70 bis 100° C. und filtrirt wie oben. 225

Um mittelst des „löslichen Berlinerblaues" gute transparente und gleichmässige Gelatinemasse herzustellen, empfiehlt Professor Hoyer zuerst eine kleine Menge stark verdünnter und erwärmter Lösung von Berlinerblau mit einer gleichfalls geringen Menge mässig verdünnter Gelatine zu mischen, die klare, homogene, blaue Lösung weiter mit grösseren Mengen einer concentrirten Gelatine zu vereinigen und dann eine nur mässig verdünnte und erwärmte Lösung von Berlinerblau allmälig zuzufügen, bis eine gesättigt blaue, homogene Masse entstanden ist.

Thiersch's transparente grüne Masse, mit der man für alle Fälle ausreicht, wird erhalten, wenn man dessen Berlinerblau mit dessen transparentem Gelb vorsichtig zu gleichen Theilen mischt, längere Zeit auf 70 bis 100° C. erwärmt und filtrirt. 226

227 **Harting's weisse Masse.** — Als eine der besten weissen Massen, die indessen immer nur eine ziemlich beschränkte Anwendung gestatten dürfte, hat Harting das kohlensaure Bleioxyd empfohlen. Man bereitet sich eine hiermit gefärbte Injectionsmasse nach diesem Forscher auf folgende Weise: 125 g essigsaures Bleioxyd, dann 95 g kohlensaures Natron werden jedes für sich in soviel Wasser gelöst, dass jede Lösung das Volumen von 480 ccm erreicht. Hierauf vermischt man je einen Raumtheil der beiden Lösungen mit 2 Raumtheilen einer concentrirten Leimlösung.

228 **Frey's Masse.** — Frey empfiehlt neben dieser Masse den schwefelsauren Baryt, der sich durch feines Korn und leichtes Eindringen auszeichne, aber der reinen Farbe ermangele. Das Salz wird aus einer gesättigten Lösung von 120 g Chlorbaryum durch sorgsamen Zusatz von Schwefelsäure ausgefällt, mit einem Theile des überstehenden Wassers zu einem dicken Breie angerührt und mit gleichen Raumtheilen concentrirter Leimlösung verbunden.

229 **Chlorsilbermasse.** — In neuerer Zeit hat Teichmann die genannte, freilich etwas theure Verbindung als Injectionsmasse empfohlen, welche sich durch ausserordentliche Feinheit auszeichnet, dagegen aber den Nachtheil besitzt, dass sie unter der Einwirkung des Lichtes schwarz wird. Man erhält dieselbe, wenn man 3 Theile gelösten salpetersauren Silberoxydes mit einer Leimlösung verbindet und in diese Masse 1 Theil Kochsalzlösung einträgt.

Als braune Injectionsmasse ist in neuester Zeit von Ludwig der Asphalt empfohlen worden, welcher in Aether aufgelöst wird und sich in äusserst feinen Körnchen ausscheidet.

2. Kalte Injectionsmassen.

230 Von den kalt anzuwendenden Injectionsmassen, welche insofern einen Vortheil gewähren, als sie jeden Augenblick zum Gebrauche zur Hand sein können und nicht immer wieder aufs Neue angefertigt werden müssen, welche aber durchaus nicht überall die warm anzuwendenden, erstarrenden zu ersetzen im Stande sind, scheint die von Beale empfohlene die weiteste Verbreitung gefunden zu haben, während die von Professor Hoyer vorgeschlagene einer ausgedehnten Verwendung fähige und eingehender Prüfung wohl werthe Schellackmasse wenig Beachtung gefunden zu haben scheint. Die erstere besteht aus einem Gemische von Wasser, Glycerin und Alkohol, in welchem die einzelnen Bestandtheile, je nach den damit verbundenen Färbemitteln, in wechselnden Verhältnissen auftreten. Nächstdem, dass sich diese Mischung, ohne irgend eine Veränderung oder Zersetzung zu erleiden, lange Zeit hindurch hält, bietet sie auch den Vortheil, dass sie mit äusserster Leichtig-

keit in die zu injicirenden Hohlräume eindringt und die Gewebe in keinerlei Weise angreift. Die Hoyer'sche Schellackmasse bereitet man aus feinem gebleichtem Schellack, indem man eine gewisse Menge desselben in einer Kochflasche mit soviel 80- bis 90 procentigem Alkohol übergiesst, dass er gerade davon bedeckt wird, 24 Stunden stehen lässt und dann im Wasserbade so lange erwärmt, bis vollständige Lösung erfolgt ist. Hat die Masse nach dem Erkalten eine zu grosse Consistenz, so giesst man noch so lange Alkohol zu, bis diese auf diejenige eines dünnflüssigen Syrups gebracht ist und filtrirt durch mässig dichten Mousselin, um alle etwa die Spritzencanülen oder die kleineren Gefässe verstopfende Unreinigkeiten zu entfernen. Die Aufbewahrung geschieht in weithalsigen mit eingeriebenem Glasstöpsel versehenen Flaschen.

231 **Blaue Masse.** — Nimmt man das oben beschriebene Beale'sche Berlinerblau, bereitet dann ein Gemisch aus 60 g Wasser, 30 g Glycerin, 30 g Aethylalkohol und 5,5 g Methylalkohol und setzt dieses der blauen Farbe vorsichtig und unter stetem Schütteln des Mischungsgefässes zu, so erhält man eine vortreffliche blaue Masse.

Eine noch besser wirkende Masse erhält man nach einer neueren, von Frey modificirten Vorschrift von Beale, wenn man 10 Tropfen der oben Nr. 490 genannten Eisenchloridtinctur mit 15 g reinem Glycerin vermischt, dann 18 cg Ferrocyankalium in wenig Wasser gelöst mit 15 g Glycerin vereinigt, beide Lösungen unter starkem Schütteln mischt und schliesslich 15 ccm Wasser mit 3 Tropfen starker Salzsäure zufügt.

In weit einfacherer Weise stellt Professor W. Müller eine von ihm sehr gerühmte kalte blaue Injectionsmasse durch Fällung des löslichen Berlinerblaues mittelst eines Alkohols von 90 Proc. dar.

232 **Rothe Masse.** — Eine kalte Carminmasse wird erhalten, wenn man aus einer Lösung des carminsauren Ammoniaks, welche nach der Hartig'schen Vorschrift bereitet wurde, mittelst sehr stark verdünnter Salzsäure (25 bis 30 Tropfen auf 30 g Wasser) den Carmin ausfällt und mit 60 g Glycerin und 15 g Alkohol verbindet.

233 **Der schwefelsaure Baryt** nach Frey in gleicher Weise wie oben angegeben ausgefällt, wird, nachdem die Hälfte der überstehenden Flüssigkeit abgegossen ist, unter Umschütteln mit einer Mischung von je 30 g Glycerin und Alkohol verbunden.

234 **Das salpetersaure Silberoxyd** kann sowohl für sich allein in Lösungen von 0,25 bis 1 Proc. mit nachfolgender Gelatineinjection oder auch als Gemisch mit einer Gelatinelösung angewendet werden. Besser als reines salpetersaures Silberoxyd soll sich nach Professor Hoyer in vielen Fällen salpetersaures Silber-Ammoniak eignen, welches erhalten wird, wenn man einer Höllensteinlösung von bestimmter Concentration so lange Ammoniaklösung zusetzt, bis sich der entstandene Niederschlag eben wieder löst und dann mit destillirtem Wasser verdünnt, bis die Lösung etwa 0,5 bis 0,75 Proc. Höllenstein enthält.

235 **Hoyer's kalte Massen.** — Zur Färbung der Hoyer'schen Schellackmasse kann man in Alkohol gelöste Anilinfarben von entsprechender Concentration oder auch in Alkohol suspendirte feinkörnige Farbstoffe verwenden. Von letzteren eignen sich vorzüglich Zinnober, Berlinerblau, gelbes Schwefelarsen (Auripigment) und frisch gefälltes Schwefelcadmium, oder auch die durch mehrmaliges Auswaschen von ihrem Bindemittel befreiten sogenannten „feuchten" Wasserfarben (in Zinnkapseln). Um fein zertheilte Färbemassen zu erhalten, zerreibt man die erstgenannten mit Wasser, übergiesst dann in Flaschen mit Alkohol, lässt absetzen, giesst den überstehenden Alkohol ab und ersetzt ihn durch frischen starken Alkohol, während man die letztere nach dem Auswaschen einfach in Alkohol suspendirt. Nach der Vermengung mit dem Farbstoffe bis zu voll gesättigter Färbung filtrirt man die Injectionsmasse zweckmässig nochmals durch Mousselin.

Dritter Abschnitt.

Gebrauch des Mikroskopes.

Erstes Capitel.

Allgemeine Grundsätze.

I. Aufstellung und Behandlung des Mikroskopes.

Beobachtungszimmer. — Das Zimmer, in welchem man mikroskopische Untersuchungen vornimmt und seine Mikroskope aufbewahrt, sollte vor allen Dingen gegen den ebenso lästigen als den Instrumenten und Präparaten nachtheiligen Staub, sowie gegen Ausdünstungen jeder Art möglichst gesichert sein. 236

Was die Lage des Beobachtungszimmers gegen die Himmelsgegenden betrifft, so suche man sich, wenn dies der freien Wahl überlassen ist, ein Zimmer aus, welches nur nach der Nordseite, oder auch nach dieser und nach der Ost- oder Westseite je ein gegen grelle Lichtreflexe geschützes Fenster hat, von denen man das eine nach Bedürfniss mittelst Läden oder dichter Rollvorhänge verschliessen kann. Die angegebene Lage gewährt nämlich mehrfache Vortheile. Erstlich ist die Beleuchtung des Zimmerraumes eine gemässigte, dem Auge wohlthuende, und dann ist das von dem nördlichen Horizonte aus in das Mikroskop fallende Licht bei einer mehr gleichmässigen Intensität während verschiedener Tagesstunden ein selbst für die feinsten Beobachtungen vollkommen ausreichendes und lässt sich auch bei den schwächsten Vergrösserungen leicht mit der Beleuchtung der Umgebung in Einklang bringen.

Arbeitstisch. — Der Arbeitstisch des Mikroskopikers muss vor allen Dingen möglichst schwer und solide gebaut sein, damit er einen festen Stand hat und nicht bei jeder Bewegung, oder, wenn man sich mit 237

den Armen darauf stützt, durch den eigenen Herzschlag erschüttert wird. Dann soll derselbe eine solche Grösse besitzen, dass er, um Alles sofort bei der Hand zu haben, bequem das Arbeitsmikroskop, ein Präparirmikroskop oder einen Lupenträger, sowie den sonstigen bei jeder Untersuchung nothwendigen Apparat aufnehmen kann. Daher taugen denn auch Tische von 50 bis 60 cm Länge und noch geringerer Breite, wie sie wohl empfohlen werden, durchaus nichts, und noch weniger geeignet möchte es sein, wenn Präparirtisch und Arbeitstisch nicht ein Ganzes bilden. Eine Länge von 1 m bis 1,25 m bei einer Breite von mindestens 50 und höchstens 75 cm, die man beim Sitzen bequem überreichen kann, erscheint mir nach eigener Erfahrung als das zweckmässigste Ausmaass. Die Höhe richtet sich natürlich nach der Höhe des Instrumentes, und dürfte bei den continentalen Stativen, wenn man nicht einen erhöhten Stuhl gebrauchen will, wohl am besten etwa 70 bis 75 cm betragen. Zu beiden Seiten des Tisches lassen sich innerhalb der Platte dann leicht ein paar gutschliessende Schiebladen anbringen, um fertige Präparate sowie diejenigen Neben- und Hülfsapparate aufzunehmen, welche man gern nahe zur Hand hat.

Den Tisch stellt man am geeignetsten in der Nähe des Fensters auf, weil man dann gleich hinreichendes Licht zur Anfertigung der Präparate und zu Beobachtungen mittelst auffallenden Lichtes hat. Denselben 2 bis $2^1/_2$ m entfernt vom Fenster aufzustellen, wie manche Mikroskopiker es empfehlen, will mir nicht recht zweckmässig erscheinen. Besseres Licht für den Spiegel, als wenn das Mikroskop nur wenig vom Fenster entfernt steht, erhält man dadurch nicht. Man kann auch bei dieser Entfernung das Licht von der dem Horizonte zunächst gelegenen Stelle des Himmels auffangen und leidet dann für andere Fälle nicht Mangel an der nöthigen Beleuchtung, wodurch man sich mindestens zu einem Hin- und Herwandern mit dem Mikroskope selbst oder mit seinen Präparaten gezwungen sehen würde.

238 **Aufbewahrung und Reinhaltung des Mikroskopes.** — Soll das Mikroskop in einem dauernd guten Zustande erhalten werden, so bedarf es vor allen Dingen einer sehr sorgfältigen Aufbewahrung und Reinhaltung.

In dieser Beziehung genügt in der Regel der einfache Verschluss des optischen Apparates in dem Kasten nicht hinreichend, um den Staub abzuhalten, der bei trockenem Wetter zu allen Ritzen und Fugen von der Strasse aus in das Zimmer geweht wird, sich im Winter je nach der Heizungseinrichtung in diesem immer in mehr oder minder hohem Maasse ansammelt, in die Kästen dringt und die Linsen verunreinigt. Es ist daher vortheilhaft, sich, falls Objective und Oculare nicht anders ausreichend geschützt sind, über die Kästen der Mikroskope dicht anschliessende, bis über die Oeffnung für den Schlüssel reichende Wachstuchüberzüge anfertigen zu lassen.

Das Stativ jedesmal in den Kasten zu packen, wird für denjenigen, der sich täglich mit Beobachtungen beschäftigt oder während des Tages öfter seine Untersuchungen zu unterbrechen genöthigt ist, höchst unbequem und zeitraubend. Es ist daher zweckmässig, eine solche Einrichtung zu treffen, dass man das Instrument, nachdem die Linsen entfernt sind, ruhig auf dem Arbeitstische stehen lassen kann, indem es mit einer Umhüllung versehen wird, welche Staub und dergleichen möglichst gut abhält. Hierzu eignen sich besonders die Glasglocken, wie man sie überall zum Schutze von Uhren und dergleichen im Gebrauche findet. Lässt man sich ein schweres quadratisches Brett mit ein oder zwei Lagen von weichem Leder überziehen und stellt das Mikroskop mit seiner Schutzglocke darauf, so schliesst letztere, wenn sie einen gut abgeschliffenen Rand besitzt, so fest, dass man selbst nach längerem Stehen kaum Staubspuren auf dem Spiegel, Objecttisch etc. wahrnimmt.

Das Stativ selbst reinige man nach jedesmaligem Gebrauche ganz und gar, und nicht etwa blos den Objecttisch, welcher am besten mit einem feinen Leinwandlappen abgerieben wird. Von dem Spiegel suche man unter gleichzeitigem Darüberhinblasen den Staub mittelst eines starken und weichen Haarpinsels zu entfernen. Für den übrigen Theil des Statives genügt in der Regel ein leichtes Abblasen und Abpinseln oder Abwischen mittelst eines alten, weichen seidenen Tuches. Wird die grobe Einstellung mittelst Verschiebung des Rohres bewerkstelligt, so suche man dieses immer ganz besonders rein zu halten und vermeide es, sich festen Schmutz darauf ansetzen zu lassen, weil, wenn dieses einmal geschehen ist, durch späteres starkes Reiben das Messing immer etwas angegriffen und die Bewegung zu leicht wird. Wird dagegen diese Einstellung durch Zahn und Trieb ausgeführt, so versäume man nicht, die Zahnstange, nachdem man sie sorgfältig von der alten Fettschicht und dem anhaftenden Schmutz gereinigt hat, von Zeit zu Zeit mit feinem, nicht trocknendem Oele, oder noch besser mit chemisch reinem, wasserfreiem Glycerin einzureiben. Wo bewegliche Blendungen vorhanden sind, da widme man auch der Reinhaltung des Blendungsapparates, des Schlittens und der verschiebbaren Hülse die gehörige Sorgfalt.

Die weitaus grösste Sorgfalt erfordert der eigentliche optische Apparat, Ocular- und Objectivsysteme. Wer damit stets die beste Wirkung erzielen will, der muss mit ängstlicher Sorgfalt über ihre Reinhaltung wachen. An den Ocularen machen sich kleine Schmutz- und Fettflecken, die auf der oberen Linse leicht entstehen können, ebenso kleine Staubtheile, Fäserchen und dergleichen sogleich bemerklich, ohne dass man besonders Acht darauf zu haben brauchte. Letztere entfernt in der Regel schon ein Pinsel, wenn man beim Abwischen zugleich sanft über die Linse bläst. Erstere dagegen müssen mittelst eines mit reinem, destillirtem Wasser oder nach Umständen mit Spiritus befeuchteten Leinwandläppchens weggenommen werden. Gelangt man durch diese

Operation nicht zum Ziele und zeigen sich beim Durchsehen immer noch, namentlich undeutlicher umschriebene Flecken, so ist das ein Beweis, dass Staub durch die Fassung gedrungen ist und an den Innenflächen der Linsen haftet. Dann schraube man die beiden Linsen ab und reinige dieselben auch nach innen.

Weit weniger machen sich geringere Verunreinigungen der Objectivlinsen bemerklich und mahnen so zur Reinigung. Man halte daher als ausnahmslose Regel fest, kein Objectivsystem — dessen Linsen man selbstverständlich niemals mit den Fingern anfassen soll — aus der Hand zu legen, ohne sich vorher davon überzeugt zu haben, dass es nicht etwa durch das Wasser des Objectträgers, durch gebrauchte Reagentien oder in sonst einer Weise verunreinigt worden ist, was hier und da auch dem sorgfältigsten Beobachter geschehen kann. Bei den Immersionssystemen wische man sofort nach dem Gebrauche die Immersionsflüssigkeit weg und lasse weder Wasser noch eine der Flüssigkeiten für homogene Immersion eintrocknen; letztere nehme man zunächst mittelst schwedischen Filtrirpapiers auf und wische dann, wenn man gewöhnliches Cedernholz hat, mit reiner weicher Leinwand ab, oder gebe, falls Oelmischungen oder verdicktes Cedernholzöl in Anwendung kommen, nach dem ersten Abtupfen einen neuen Tropfen Cedernholzöles auf und verfahre dann wie vorher. Ausserdem untersuche man von Zeit zu Zeit seine Objectivsysteme sowohl an der vorderen, als an der dem Oculare zugewendeten Seite, ob deren Linsen nicht bestäubt oder beschmutzt sind. Eine derartige Verunreinigung erkennt man leicht, wenn man das System mit der vorderen Seite gegen das Auge hält und nun nach dem hellen Himmel blickt, oder wenn man die Linsen gegen das Fenster spiegeln lässt, wobei dessen Bild auf einer nicht reinen Linse trübe erscheinen wird.

Was die erstgenannten Verunreinigungen betrifft, so gilt als erste Regel, dieselben möglichst zu vermeiden. Zu dem Ende verwende man zunächst, wie schon weiter oben erwähnt, nie zu kleine Deckgläschen, sondern solche, die etwa 15 bis 18 mm Seite haben. Dann suche man alle überflüssige am Rande des Deckgläschens stehende Flüssigkeit mittelst eines Pinsels, eines Stückchens Fliesspapieres oder einer kleinen Pipette zu entfernen, weil sich sowohl die Wasserdünste wie die Dämpfe der Reagentien auf den Objectivlinsen niederschlagen. Aetzende, auf das Glas der vorderen Linse unbedingt schädlich wirkende Säuren und dergleichen vermeide man soviel wie möglich ganz oder nehme zu solchen Untersuchungen, wo sich dieselben nicht vermeiden lassen, minder gute Systeme, an denen weniger gelegen ist. Ist es trotz aller Vorsicht einmal vorgekommen, dass eine Objectivlinse durch irgend ein Reagens verunreinigt wurde, so spüle man dieselbe sofort sorgfältig mit destillirtem Wasser ab und wische sie nach mehrmaligem Bespülen mittelst eines weichen Leinwandlappens trocken. Man wird dann höchst selten einen Verlust zu beklagen haben. Dämpfe von Jod, mit welchem

Reagens namentlich der Pflanzenphysiologe häufig zu thun hat, lassen sich leicht mittelst Abwischens beseitigen, nur vermeide man, dass sie zu lange einwirken können. Mineralsäuredämpfe verlangen dagegen unbedingt das Abspülen mittelst destillirten Wassers.

Staub und dergleichen kleine Partikelchen lassen sich in der Regel schon durch den Pinsel, durch Leinwand oder weiches Leder entfernen. Sitzen sie fester, so benetze man die Linse oder das Leinwandläppchen wenig mit Wasser und wische leicht ab. Nur im äussersten Falle und namentlich wenn sich Fetttheilchen angesetzt haben, greife man zu Alkohol. Dann aber befeuchte man das Läppchen nur wenig, weil sonst die etwa zwischen die Fassung dringende Flüssigkeit den Canadabalsam auflösen könnte, womit die Linsen zusammengekittet sind. Der dadurch herbeigeführte Schaden würde nur so wieder gut gemacht werden können, dass man das betreffende Objectivsystem von dem Optiker in Ordnung bringen liesse. Um von der hinteren, dem Oculare zugewendeten Linse den sich durch das Mikroskoprohr hinabsenkenden Staub zu entfernen, bedient man sich zweckmässig eines zugespitzten Hollundermarkstängelchens, dem man nach jedem Abwischen eine frische Schnittfläche giebt. Gleich gute Dienste gewährt auch ein ähnlich zugeschnittenes Stäbchen aus Lindenholz, dessen Ende man mit feiner Leinwand umwickelt hat. Pinsel und Blasen thun dann das Uebrige. Sollte es nöthig werden, die Fassungen der einzelnen Linsen eines Objectivsystemes aufzuschrauben, welcher Fall indessen nur höchst selten eintreten wird, und namentlich bei stärkeren Systemen möglichst vermieden werden sollte, so hüte man sich ja, dabei mit zu grosser Gewalt zu verfahren, weil erstere dadurch leicht verbogen und damit verdorben werden. Wenn die Schrauben nicht mit der blossen Hand ohne grosse Anstrengung aufgedreht werden können, so bediene man sich folgender, schon von Kellner empfohlenen Vorrichtung. Man lasse sich in ein Stückcken weichen Holzes ein Loch drehen, dessen Durchmesser dem des entsprechenden geränderten Rundstäbchens der Fassung gleich ist, dann bringe man in einem zweiten Stücken Holz ein Loch an, in welches das folgende Rundstäbchen knapp hineinpasst. Steckt man dann das erste Rändchen der Fassung in das Loch des einen Holzes und stülpt das andere Hölzchen über das zweite Rändchen, so wird man bei mässigem Drucke und aufdrehender Bewegung leicht die Trennung bewirken können, ohne dass die Fassung leidet.

Behandlung des Mikroskopes während des Gebrauches. — 239 Die Sorge für das Mikroskop während des Gebrauches erstreckt sich neben den Vorsichtsmaassregeln in Bezug auf die Reinlichkeit namentlich darauf, dass man andere Beschädigungen der Linsen oder ein Zerbrechen derselben möglichst zu verhüten suchen muss. Ein solcher Unfall kann sich bei der groben Einstellung des Gegenstandes ereignen, indem man durch ein zu rasches und tiefes Herabschrauben oder Herabschieben des Rohres mit [illegible] ren Linse des Objectivsystemes gegen

den Objectträger oder das Deckglas stossen und dabei neben einer herbeigeführten Beschmutzung Gefahr laufen könnte, dieselbe durch Druck oder Stoss mehr oder minder stark zu beschädigen oder gar zu zersprengen. Dies ist namentlich dann leicht möglich, wenn die vordere Linse mit dem Rande der Fassung in einer Ebene liegt und nicht, wie dies jetzt wohl meistens der Fall ist, durch einen etwas hervorstehenden Rand geschützt wird. Einem solchen Unfalle, der auch dem Geübteren einmal begegnen kann, lässt sich am sichersten vorbeugen, wenn man es sich zur festen Regel macht, die grobe Einstellung nie so zu bewerkstelligen, dass man das Rohr gegen das Object bewegt, während man in das Mikroskop sieht, sondern dass man das Objectivsystem, indem man horizontal über den Objecttisch hinwegsieht, dem Deckgläschen etwas weiter nähert, als eigentlich erforderlich ist, und die genaue Einstellung dann durch Heben des Tubus zunächst mittelst der groben Einstellung und dann durch Gebrauch der Mikrometerschraube bewirkt. Auch beim Wechseln der Objectivsysteme kann leicht ein Unfall vorkommen, wenn man beim Festschrauben nicht höchst vorsichtig zu Werke geht. Man lasse hierbei die eine Hand niemals eher von dem Objectivsysteme los, als bis die mittelst der anderen Hand vorzunehmende Verschraubung vollkommen festsitzt. Versäumt man dies, so mag es sein, dass die Schraube noch nicht vollkommen gegriffen hat und das Objectivsystem auf den Objecttisch oder gar auf den Boden fällt. Geht dabei im günstigsten Falle keine Linse zu Grunde, so dürfte doch schon die Erschütterung nachtheilig auf die Fassung oder die Verkittung wirken. Wo das Rohr verschiebbar ist, da versäume man nicht, dieses beim Wechseln der Objectivsysteme ganz herauszunehmen. Wo dagegen die grobe Einstellung mittelst Zahn und Trieb bewirkt wird, da hebe man das Rohr so hoch wie möglich, um hinreichenden Raum für die freie Bewegung der Hände zu haben.

Werden Objectivsysteme mit Verbesserungseinrichtung verwendet, so achte man genau darauf, dass mit der Correction zugleich die feine Einstellung ausgeführt wird, um das Object immer genau im Auge zu behalten und nicht etwa durch nachherige verkehrte Bewegung der feinen Einstellung einen Druck auf das Deckglas auszuüben, was sich namentlich bei den stärkeren Systemen dieser Art leicht ereignen kann. Sind diese zugleich zum Eintauchen bestimmt, so sei man mit dem Aufbringen des Wassertropfens immer recht vorsichtig, weil sich sonst leicht Luftblasen einschleichen und mancherlei Mühe und Zeitverlust veranlassen. Ich habe es am besten gefunden, dass man bei Wasserimmersion zuerst die untere Linse des Objectsystemes sorgfältig abwischt, etwas anhaucht und dann einen Tropfen reinsten Wassers aufgiebt, der beim Senken des Rohres sich leicht mit einem zweiten in ähnlicher Weise auf das Deckglas gebrachten Wassertropfen vereinigt, ohne dass sich Luft eindrängen könnte. Auch bei der homogenen Immersion bringt man am besten ein kleines Tröpfchen der Flüssigkeit auf die vordere Linsenfläche, ein zweites auf das Deckglas und hüte sich besonders vor zu viel.

Beim Wechseln der Oculare hat man weit weniger einen Unfall zu fürchten. Doch möchte ich rathen, beim gleichzeitigen Wechseln von Ocular und Objectiv stets das früher gebrauchte Ocular sitzen zu lassen, bis man das neue Objectivsystem angeschraubt hat, und dann erst mit jenem zu wechseln.

Auch die Behandlung der Einstellungsvorrichtung, namentlich aber der Mikrometerschraube während der Beobachtung, verlangt ihre Vorsicht. Um die letztere immer in gutem und regelmässigem Gange zu erhalten, mache man es sich zur Regel, die Feder weder längere Zeit in stärkerer Spannung zu lassen, noch dieselbe zu lose zu halten. Man gebe der Mikrometerschraube daher eine mittlere Stellung, in welche man sie immer wieder zurückbringt, wenn sie zu weit vor- oder zurückgeschraubt worden war. Vor Allem hüte sich aber der Anfänger vor einer Misshandlung der Mikrometerschraube, welche hier und da bei den weniger Kundigen dadurch hervorgerufen wird, dass die Hülse, welche den optischen Apparat trägt, schon bis zu ihrer äussersten Grenze gehoben oder herabgezogen ist. Die Schraube versagt dann den Dienst und man lasse sich nun ja nicht verleiten, durch Gewalt deren Bewegung zu erzwingen, sondern drehe sie wieder bis in eine mittlere Stellung zurück, welche leicht zu ermitteln ist.

Beim Gebrauche des Mikroskopes in der kälteren Jahreszeit hat man mit einer höchst störenden Unannehmlichkeit zu kämpfen, indem während der Beobachtung nicht allein das Metall des Statives durch den Einfluss des Athmens anläuft, was oft bis zur Tropfenbildung gehen kann, sondern dass sich auch die obere Linse der Oculare durch Beschlag trübt, sobald man das Auge darüber bringt. Ersteres, was namentlich dann stört, wenn der Objecttisch anläuft und dadurch die Bewegung des Objectträgers gehemmt wird, und bei Instrumenten mit grober Einstellung durch Zahn und Trieb insofern nachtheilig wirkt, als es die Verunreinigung letzterer befördert, vermeidet man am besten dadurch, dass man das Stativ nicht im Kasten, sondern unter einer Glasglocke im geheizten Zimmer aufbewahrt. Hat sich dasselbe indessen während der Nacht dennoch zu stark abgekühlt, so bringe man es kurze Zeit in die Nähe des Ofens, bis das Metall die Temperatur der umgebenden Zimmerluft angenommen hat, hüte sich aber, dabei zu grosse Wärme auf dasselbe wirken zu lassen. Mit den Ocularen kann man sich, wenn eine der Linsen nicht etwa von einer achromatischen Doppellinse gebildet wird, auf dieselbe Weise durch Erwärmung in der Nähe des Ofens helfen. Ist jenes der Fall, so hält man nur die vordere Linse den von dem Ofen ausgehenden Wärmestrahlen entgegen, wodurch die Oberfläche bald die gewünschte Temperatur annimmt.

II. Vorsichtsmaassregeln für das Auge.

240 Noch immer hält man vielseitig an der Meinung fest, als ob die mikroskopische Beobachtung dem Auge gefahrbringend sei und nach und nach eine Schwächung des Sehvermögens herbeiführe. Weiter verbreitet und gestützt wurde dieselbe noch durch die Erfahrungen, welche in der Regel Laien oder Anfänger in der mikroskopischen Beobachtung machen. Das Sehen durchs Mikroskop verlangt eben wie jede andere körperliche Verrichtung Uebung und Gewöhnung und veranlasst wie jede solche im Anfange eine gewisse Abspannung des betreffenden Organes. Wer diese Uebung nicht besitzt, der sucht ausserdem unwillkürlich die gewöhnliche Art des Sehens auf das Mikroskop zu übertragen und lässt das Accommodationsvermögen des Auges wirken, um von in verschiedener Tiefe des Objectfeldes befindlichen Gegenständen gleich deutliche Gesichtseindrücke aufzunehmen. Da nun bei dem mikroskopischen Sehen und namentlich bei fortdauernd angestrengter Beobachtung die Ruhepunkte fehlen, welche bei dem gewöhnlichen Sehen zwischen den zuzufassenden verschiedenen Gesichtseindrücken liegen, so wird in dem noch ungeübten Organe bei den beständigen Accommodationsversuchen um so eher ein Zustand der Ermüdung gefühlt, welcher sich oft höchst empfindlich äussert. Diese bei den ersten Versuchen sich einstellende Ermüdung wird indessen nach und nach immer weniger fühlbar, indem man sich mehr und mehr daran gewöhnt, das mikroskopische Bild auf der Netzhaut wie auf einem Schirme aufzufangen, während alle jene Operationen, die man gewöhnlich durch das Accommodationsvermögen vollzieht, auf den Einstellungsapparat des Mikroskopes übertragen werden. Der anhaltende Gebrauch des zusammengesetzten Mikroskopes schadet nicht allein dem Sehvermögen im Allgemeinen nicht, sondern gerade durch denselben wird das Auge im Laufe der Zeit immer geschickter, feinere und längere Anstrengung verlangende Beobachtungen zu ertragen.

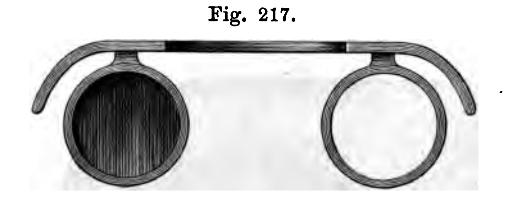
Immerhin bedarf es der entschiedensten Vorsicht und Rücksichtnahme auf das gerade für den Mikroskopiker wichtigste Vermögen, das Sehvermögen. Wie auf jedes Organ übermässige Anstrengung und zu starke Reize gefahrbringend wirken, so auch auf das so fein und empfindlich organisirte Auge. Die in dem Folgenden gegebenen Vorsichtsmaassregeln halte man daher möglichst sorgfältig ein und weiche nur in solchen Fällen davon ab, welche eine Ausnahme unbedingt erheischen.

1. Man gewöhne sich vor Allem daran, beim Beobachten auch das nicht in das Mikroskop blickende Auge offen zu halten. Anfangs fällt dieses allerdings etwas schwer und man findet, dass das mikroskopische Bild wegen der Vermischung mit den von dem zweiten Auge aufgefassten und auf die Netzhaut projicirten Gegenständen nicht so scharf und be-

stimmt gesehen wird, als wenn man das zweite Auge schliesst. Es lernt sich indessen bald, die Aufmerksamkeit so vollständig auf den mikroskopischen Gegenstand zu richten, dass man gleichsam mit dem zweiten Auge nichts mehr sieht, und dem mikroskopischen Bilde keinerlei Eintrag geschieht. Für das Auge selbst ist aber diese Regel insofern von Wichtigkeit, als das, wenn auch unwillkürliche Zudrücken des einen Auges eine sympathische Spannung in den Lidmuskeln des anderen Auges erzeugt, welche auf die Dauer ermüdend wirkt.

Der in neuerer Zeit von mehreren Seiten empfohlene über das Rohr zu schiebende kleine Apparat (Fig. 217) thut in dieser Beziehung gute

Fig. 217.



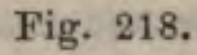
Dienste, indem das zweite bei der Beobachtung nicht thätige Auge auf eine nahe an dasselbe herangerückte dunkele Fläche sieht.

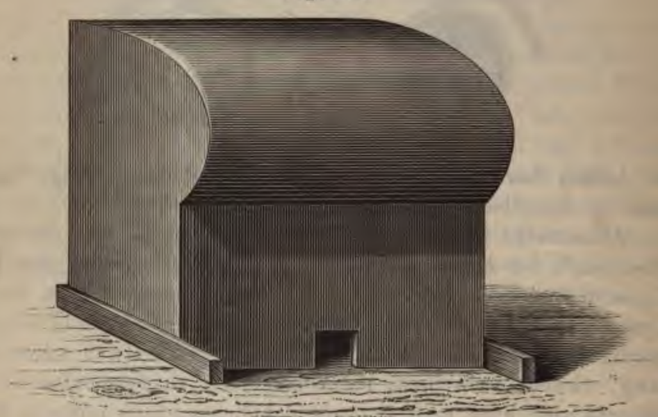
2. Allzustarke Reize vermeide man, wie das ja auch der gewöhnliche Gebrauch des Auges verlangt. Passende Dämpfung des Lichtes durch geschickte Verwendung des Blendungsapparates, die man sich anzueignen suchen muss, kann ich hier nicht dringend genug empfehlen. Weit weniger nachtheilig als zu grelle wirkt eine etwas schwache Beleuchtung, obwohl auch diese im Allgemeinen zu vermeiden ist. Vor allen Dingen aber hüte man sich vor der Beleuchtung mittelst directen nicht ausreichend abgedämpften Sonnenlichtes. Was man mit unseren heutigen Mikroskopen nicht bei gutem Tageslichte sieht, das lässt sich auch durch Sonnenlicht nicht erzwingen, dessen Anwendung das Auge unfehlbar zu Grunde richtet.

3. Nicht weniger sorgfältig als allzustarke Beleuchtung des Sehfeldes vermeide man auch den zu starken, längere Zeit andauernden Gegensatz von Licht und Dunkelheit. In dieser Beziehung ist namentlich der Rath verwerflich, den ich noch in einigen englischen Werken angeführt finde, das Zimmer ganz zu verdunkeln und das Tageslicht nur durch eine kleine Oeffnung des Ladens auf den Spiegel fallen zu lassen.

Um das die Beobachtung durch eine gewisse Abstumpfung des Auges beeinträchtigende, nicht aus dem Mikroskop kommende, von der Tischfläche etc. reflectirte, namentlich aber das seitlich auf das Auge treffende Licht abzuhalten, kann dagegen sehr wohl eine andere Veranstaltung dienen, welche die Vortheile des verdunkelten Zimmers gewährt, ohne dessen Nachtheile mit sich zu führen. Dies ist der zuerst von Dr. Flögel empfohlene Mikroskopirkasten, den man sich nöthigenfalls selbst anfertigen kann. Dieser Kasten ist am besten in seinem

unteren Theile vierseitig mit offener Hinterseite und einer vierseitigen Oeffnung in der dicht an den Objecttisch anschliessenden Vorderseite, welche der Breite des Objecttisches und dessen Höhe über der Fläche des Arbeitstisches entspricht und dazu dient, um das nöthige Licht auf den Spiegel fallen zu lassen. Die Breite (von vorn nach hinten) kann etwa 20 bis 25 cm, die Länge 60 bis 80 cm betragen, während die Höhe sich nach der des Statives richten muss. An diesen unteren Theil fügt sich ein oberer, der, um dem Kopfe des Beobachters auch nach vorne den nöthigen Raum zu gewähren, nach dieser Seite hin ausgebogen ist, Fig. 218, und etwa um 10 cm vorspringt. Die Gesammthöhe des Kastens mag etwa 65 bis 75 cm betragen und es wird derselbe, um ihm die


Fig. 218.



nöthige Stabilität zu bewahren, seitlich mit zwei hinreichend schweren Holzklötzchen als Füsse versehen, welche über die Vorderwand etwas hinausragen [1]).

Die Beobachtung bei künstlichem Lichte möchte ich im Allgemeinen ebenso wenig empfehlen wie verdunkeltes Zimmer. Sucht man auch durch mattgeschliffene oder gefärbte Gläser das Lampenlicht dem Tageslichte möglichst nahe zu bringen, so bleibt doch immer ein Gegensatz zwischen der Beleuchtung des Sehfeldes und derjenigen des Zimmers, der, wenn auch nicht so bedeutend, wie in dem vorhergehenden Falle, doch immer gross genug ist, um auf die Dauer seinen nachtheiligen Einfluss zu äussern. Wer das Mikroskop dauernd gebrauchen will und muss, der wird auch am Tage die nöthige Zeit finden, um seine Beobachtungen auszuführen.

---

[1]) R. Jung in Heidelberg liefert den Flögel'schen Dunkelkasten nach Angabe von Prof. Engelmann in Utrecht um 35 Mark.

III. Eigenthümlichkeit der mikroskopischen Wahrnehmung und Deutung des Gesehenen.

241 Das Sehen überhaupt ist eine reine Verstandesoperation, welche aber so rasch auf den von aussen kommenden Reiz hin vollzogen wird, dass wir uns des Ueberganges von der Empfindung zu deren äusserer Ursache kaum bewusst werden. Trotzdem aber, dass diese Verstandesoperation von uns, ohne als solche zum Bewusstsein zu gelangen, ich möchte sagen, fast unmittelbar vollzogen wird, und wir die durch das Auge vermittelten Wahrnehmungen sofort als vollendete Anschauungen, gleichsam als ob dieselben durch von aussen unmittelbar gegebene Eindrücke erzeugt seien, fertig haben, verlangt dieselbe dennoch eine gewisse Ueberlegung und entschiedene Uebung. Es dauert während des Kindesalters eine geraume Zeit, ehe wir im Stande sind, aus den von aussen kommenden Daten uns unter Zuhülfenahme des Tastsinnes ein richtiges Bild von der Körperwelt, von der Entfernung im Raume etc. zu construiren.

Auf der Netzhaut des ruhenden Auges, welche als der eigentlich thätige Factor des Gesichtssinnes zu betrachten ist, entsteht zunächst nur das Bild einer aus leuchtenden Punkten gebildeten Fläche, während alle ausserhalb dieser Fläche liegenden Punkte für diesen bestimmten Zustand des Auges nur Diffusionsbilder erzeugen. Dass wir die Gesammtheit der in verschiedenen Ebenen gelegenen äusseren Objecte als ein gleichsam in allen Einzelheiten scharfes Bild auffassen, hat seinen Grund in der Beweglichkeit unseres Auges wie des ganzen Körpers, sodann in der dem ersteren eigenthümlichen in gewisse, nicht allzu enge Grenzen eingeschlossenen Fähigkeit, sich in rascher Folge den Entfernungen anzupassen.

Bei vollkommener Entwickelung desselben wird uns beim freien Sehen durch den Gesichtssinn stets eine hinreichend sichere Grundlage geboten, auf der wir, unterstützt von Erfahrung und Uebung, durch welche wir aus der Grösse des Gesichtswinkels und der mehr oder minder grossen Deutlichkeit des Gesichtseindruckes auf die Entfernung und somit auf die relative Lage der Gegenstände und ihrer einzelnen Theile schliessen lernen, die figürliche Construction der Körperwelt vornehmen können.

242 Ganz anders gestaltet sich dagegen die Sache bei dem mikroskopischen Sehen. Hier fallen alle die dem freien Sehen sich bietenden Hülfsmittel hinweg. Zunächst sehen wir den Gegenstand für sich isolirt, und betrachten denselben mit nur e i n e m in der Regel ruhenden Auge, welches in unveränderter Stellung zu ihm erhalten werden muss. Dann hilft, wie wir aus den Betrachtungen über die Sehtiefe, Seite 58 u. f., gesehen, das Accommodationsvermögen des Auges für die Auffassung der

Tiefenausmessung der Objecte nur bei schwächeren Vergrösserungen einigermaassen mit. Diese Mithülfe sinkt aber mit Zunahme der Vergrösserung und hört bei mittleren fast, bei stärkeren ganz auf, indem wir bei diesen durch das Mikroskop stets nur — und zwar um so genauer, je besser dessen Objectivsysteme sind — das in einer mathematischen Ebene liegende Bild sehen. Was über oder unter dieser Fläche liegt, ist für uns so gut wie gar nicht vorhanden. Wollen wir uns davon eine Anschauung verschaffen, so müssen wir geradezu das eine Gesichtsbild vernichten und ein anderes an dessen Stelle setzen. Dies kann aber nur durch die Aenderung der Einstellung geschehen. Was wir also bei dem gewöhnlichen Sehen in stetiger Aufeinanderfolge ausführen, das kann bei dem mikroskopischen Sehen in den meisten Fällen der Beobachtung feinerer Structurverhältnisse nur in Folge der verschiedenen Einstellungen in entschieden merkbaren Unterbrechungen und nebenbei nie so vollkommen geschehen wie dort. Wie sehr dies die Verbindung der einzelnen von einander verschiedenen, niemals stetig in einander überfliessenden Gesichtseindrücke zu einem Ganzen erschweren muss, ist auf den ersten Blick einleuchtend.

Zu einem dem Sehen mit freiem Auge einigermaassen ähnlichen mikroskopischen Sehen führt die Beobachtung mittelst stereoskopischer Apparate. Dieselbe beschränkt sich indessen vermöge der im ersten Abschnitte entwickelten Gesetze über die Sehtiefe des Mikroskopes auf eine verhältnissmässig geringe Anzahl von Objecten, so dass von ihr immerhin eine nur beschränkte Unterstützung zu erwarten ist.

Zu den berührten Verschiedenheiten zwischen gewöhnlichem und mikroskopischem Sehen kommt noch, und zwar als weitaus bedeutsamster, das mikroskopische Sehen nicht nur in Bezug auf die Zahl und Aufeinanderfolge der Gesichtseindrücke, sondern auch der Art nach als verschieden gestaltender Factor die, von der gewohnten, bei dem Sehen mit blossem Auge in Anwendung kommenden ganz verschiedene Beleuchtung der verschiedenen Präparate. Dort sieht man einen Gegenstand vermittelst des von ihm zurückgeworfenen oder zerstreuten Lichtes. Eine entsprechende Art der Beleuchtung aber, welche das Object gleichsam wie einen selbstleuchtenden Körper erscheinen lässt, findet bei der mikroskopischen Beobachtung nur eine beschränkte Anwendung bei der Betrachtung undurchsichtiger Objecte. Am häufigsten muss man, um sich über die feineren Structurverhältnisse der zu untersuchenden Gegenstände Aufschluss zu verschaffen, nachdem man sie gehörig vorbereitet und hinreichend durchsichtig gemacht hat, zu der Beleuchtung mittelst durchgehenden Lichtes greifen und es kommt dabei — wie auch bei Beleuchtung mittelst auffallenden Lichtes — die im ersten Abschnitte Seite 76 u. f. erörterte gesetzmässige Eigenart der mikroskopischen Abbildungsweise zur Geltung. Wir haben es hier, wie an jener Stelle nachgewiesen, in keinem Falle mit einem in geometrischer Weise erzeugten Absorptionsbilde, also mit einem einfachen Flächenbilde des

Objectes zu thun, sondern mit der Interferenzwirkung, welche die von der Objectstructur bewirkte Beugungserscheinung in der der Objectebene zugeordneten Ebene: der Bildebene, hervorruft. Wir müssen also bei der Beurtheilung und Deutung des durch das Mikroskop Gesehenen stets dessen eingedenk sein, dass bei jeder Art von Objecten, mögen dieselben gemäss eines aus zahlreichen, gleichgestaltigen und gleichartig geordneten Elementen bestehenden Aufbaues eine aus deutlich getrennten Lichtmaxima bestehende, oder in Folge beliebig gegliederter unregelmässiger Structur eine ununterbrochene Lichtausbreitung mit stetig oder sprungweise veränderter Lichtstärke darstellende Beugungsfigur erzeugen, sich nur dann ein nach Maassgabe der dioptrischen Wirkung des abbildenden Linsensystemes vergrössertes in allen Maass- und Formverhältnissen mit jenen übereinstimmendes Bild ergeben kann, wenn sämmtliche durch die Beugung erzeugten Strahlengruppen von merklicher Lichtstärke von diesem Systeme aufgenommen werden, dass dagegen im anderen Falle stets in dem Maasse ein dem wirklichen Beobachtungsgegenstande mehr und mehr unähnliches Bild entsteht, als mehr und mehr Antheile des gebeugten Lichtes ausserhalb der Objectivöffnung fallen und für die Abbildung verloren gehen. Die im letzteren Falle in dem mikroskopischen Bilde auftretenden feineren Zeichnungen, Streifungen, Felderungen und dergleichen, mögen sie auch noch so bestimmt und körperlich gezeichnet, noch so beständig erscheinen, dürfen doch nicht morphologisch, d. h. als Abbilder körperlicher Formen, sondern in dem Sinne wie in den theoretischen Betrachtungen dargethan wurde, lediglich als die Anzeichen gewisser geformter stofflicher Verschiedenheiten in oder an den Objecten gedeutet werden.

Einfache Streifungen in dem Objecte, mögen sie der Oberflächenstructur angehören oder in inneren materiellen Verschiedenheiten ihren Grund haben, werden, sobald nur der directe Lichtbüschel nebst zwei bis wenigen beiderseits (centrales Licht) oder einerseits von ihm auftretenden Beugungsbüschel (schiefes Licht) Eintritt erlangen, als Bild zwar wieder eine scharf gezeichnete Streifung ergeben, aber diese kann der wirklichen an Feinheit gleichkommen, oder als doppelt, dreifach etc. feinere erscheinen, je nachdem unmittelbar auf einander folgende — und wenn auch nur zwei — Spectra der Beugungsfigur zur Wirkung kommen oder — was ja auch ohne künstliche Abblendung und unbeabsichtigt bei der mikroskopischen Beobachtung eintreten kann — eines bis mehrere der dazwischenliegenden ausgeschlossen werden. 243

Ebenso wird das mikroskopische Bild auch in Bezug auf seine Lichtabstufung und das richtige Verhältniss zwischen der Breite der hellen und dunklen Linien eines Streifensystemes z. B. dem Objecte umso weniger nahe kommen, je unvollständiger das von dem Mikroskope aufgenommene Beugungsspectrum ist und es wird erst bei der Aufnahme zahlreicherer Einzelspectren des letzteren demselben mehr und mehr

ähnlich, bis bei voller Aufnahme der Beugungsfigur in ihren noch merklich lichtstarken Einzelspectren endlich das Bild dem Objecte gleichgestaltet erscheint. Etwas anders gestalten sich in letzterer Beziehung die Verhältnisse, wenn die beugenden Elemente auf eine geringe Anzahl herabsinken. In diesem Falle treten innerhalb der Beugungsfigur auch Maxima dritter und vierter Ordnung auf und die Beziehung zwischen dem schliesslichen mikroskopischen Bilde und dem in der Austrittspupille auftretenden Beugungsspectrum wird eine verwickeltere, die sich nicht mehr so einfach durch Versuch und Beobachtung feststellen lässt. Die Formeln auf Seite 94 u. f. verlieren dann mehr und mehr ihre Verlässlichkeit und wenn die Anzahl der beugenden Elemente auf eine sehr kleine Zahl, etwa zwei, herabsinkt, so kommt für ihre Sichtbarkeit das Verhältniss zwischen den dunklen Stellen und deren Zwischenraum überhaupt noch allein in Betracht.

Structuren, welche aus beugenden Elementen bestehen, deren Gruppirung regelmässige geometrische Figuren bildet, geben je nach den in dem Oeffnungskegel Raum findenden Beugungsbüscheln und deren Anordnung sehr verschiedene Bilder. Zutritt zweier Spectren oder des directen Bildes der Lichtquelle und eines Spectrums ergeben, wie früher nachgewiesen wurde, stets eine Streifung, deren zu einander parallele Linien senkrecht stehen zur Verbindungslinie der Lichtmaxima der Beugungsfigur. Drei oder mehr nicht in einer Reihe liegende Spectren bewirken das Auftreten von sich unter einander schneidenden Linien oder in Reihen geordneten Felderungen, deren Richtung sich in gleicher Weise wie oben bestimmt und deren lineare Entfernungen in umgekehrtem Verhältnisse stehen zu den linearen Abständen der entsprechenden Spectren. Selbst dann, wenn neben dem Hauptmaximum sämmtliche, von den dem directen Lichtbüschel zunächst liegenden Beugungsbüscheln erzeugte Spectren wirksam werden, also der ganze centrale Theil des Gesammtspectrums in der Austrittspupille auftritt, giebt das Bild nur die Anzeichen für die Gruppirung der beugenden Elemente (die Periode der Structur) und nichts weiter. In allen diesen Fällen aber kann auf Grund des mikroskopischen Bildes allein über die Beschaffenheit der betreffenden Objectstructuren ein entscheidendes Urtheil darüber nicht gefällt werden, ob die beobachteten Streifungen und Felderungen durch sich schneidende Streifen, durch so oder so gestaltete, isolirte Körperchen oder Höhlungen, oder durch innere materielle Verschiedenheiten erzeugt werden. Für alle derartigen Structuren gewährt das früher betrachtete Pleurosigma angulatum ein treffendes Beispiel, wie die Veränderungen in der Gestaltung der Beugungsfigur entsprechende Veränderungen in dem mikroskopischen Bilde bedingen, und diesen ähnliche Erscheinungen lassen sich an allen Diatomeen, an Schmetterlingsschuppen, sowie an vielen organischen Objecten hervorrufen. Verweilen wir z. B. einmal bei dem Bilde, welches Pleurosigma angulatum gewährt, wenn es mittelst eines Objectivsystemes von grosser numerischer Apertur und bei centraler Beleuchtung beobachtet

wird, und welches dessen Schale als aus kleinen Kügelchen zusammengesetzt darstellt — ein Bild, welches zur Zeit von mehreren Mikroskopikern (Pelletan, Stein, Kaiser u. A.) als das der wahren Structur angesehen wird, so haben wir schon weiter oben gesehen, dass bei so kleinen Ausmaassen der Structurelemente, wie sie hier vorliegen, weder die Wirkung von Brechung noch Schatteneffecte — wie noch immer vielseitig angenommen wird — in Betracht kommen [1]) können, sondern dass einzig die Beugungswirkung zur Geltung gelangt und wir über die wirkliche morphologische Beschaffenheit der beugenden Elemente, ob sie z. B. kugelförmig oder anders gestaltet, ob sie Erhöhungen oder Vertiefungen seien, ein Urtheil nicht abgeben können. Die dem Mikroskop zugängliche und zu beobachtende Beugungsfigur — hier die in regelmässigem Sechsecke um das directe Bild der Lichtquelle gruppirten sechs Spectra — also auch das schliessliche Bild, können in jeder beliebigen Structur begründet sein, welche optisch verschiedene Elemente im Inneren oder an der Oberfläche in irgend einer Art so angeordnet enthält, dass dieselben gleichzeitige Dreiecke von etwa 0,5 μ Höhe bilden.

Aehnlich verhält es sich für vereinzelte Structurelemente, Fasern, kleine Körperchen u. dergl., oder ähnlich gestaltete Oberflächenstructuren und innere materielle Differenzirungen: einzeln auftretende Rinnen, Streifen, Höhlungen, Grübchen etc., von denen ebenso gut wie von zusammengesetzten Structuren eine Beugungswirkung ausgeht und welche, wie wir gesehen haben, bis zu unendlicher Kleinheit gesehen werden können, in Bezug auf die Bestimmung ihrer Gestalt und ihres wahren Ausmaasses, sobald dieses letztere auf sehr kleine Vielfache oder auf Bruchtheile der Wellenlänge herabgeht. Beide hängen in diesem Falle einzig und allein von dem wirksam werdenden Theile des abgebeugten Lichtes ab. Je geringer der Theil der vollen Beugungsfigur ist, welcher Zutritt zu dem abbildenden Objectivsysteme erlangt, in desto höherem Maasse macht sich eine Vergrösserung ihrer Ausmaasse geltend und, wie wir weiter oben gesehen haben, ist das kleinste Ausmaass, unter welchem dieselben in irgend einer Dimension erscheinen können, bestimmt durch den Werth $\frac{\lambda}{2a}$ nahezu. Ob ein so feines faserartiges Structurelement, kantig, cylinderisch oder plattgedrückt sei, lässt sich ebensowenig ent-

[1]) Betrachtet man das Bild einer Lichtflamme mittelst eines Objectivsystemes von 3 bis 2 mm Brennweite durch eine in der Mitte des Gesichtsfeldes liegende Schale von Pleurosigma angulatum, indem man das Ocular hinwegnimmt und das Auge an die Stelle des Luftbildes bringt, so sieht man, obwohl unter diesen Umständen kein Lichtstrahl in das Auge gelangen kann, welcher nicht den Theil der Schale durchlaufen hat, welcher der Oeffnung der Pupille zugeordnet ist, jene so scharf begrenzt, als ob man sie durch eine vollständig homogene, ebene Glasplatte betrachtet hätte und es ist, falls nicht etwa die Mittelrippe mit abgebildet wird, ausser den sechs Beugungsspectren auch nicht eine Spur von durch Brechung abgelenktem oder zerstreutem Lichte zu entdecken.

scheiden wie die Frage, ob kleine Körperchen, welche bei kleiner und kleiner werdenden absoluten Ausmaassen und namentlich dann, wenn die Unterschiede dieser letzteren in den verschiedenen Richtungen im Verhältniss zu $^1/_2 \lambda$ kleine sind, alle in der Grenzform kreisförmiger Scheiben von mindestens einem durch die obige Formel bestimmten Durchmesser erscheinen müssen, Kugeln, Würfel oder dergleichen vorstellen.

244 Wird das durch irgend welche der Beobachtung unterliegende Objecte gebeugte Licht in Folge grösserer, mehreren Vielfachen der Wellenlänge des Lichtes gleichkommenden linearen Ausmaassen in einen verhältnissmässig engen Kegelraum zusammengedrängt und nimmt das entsprechende Beugungsspectrum einen so kleinen Raum ein, dass alle oder doch alle merklich lichtstarken Einzelspectra desselben in der Austrittspupille des Objectivsystemes Aufnahme finden, dann nähern wir uns der Bildähnlichkeit mehr und mehr bis zur endlichen, vollen Uebereinstimmung. Es bleibt daher, so lange es sich um derartige, im Verhältniss zu der numerischen Apertur des abbildenden Objectives grobe Objectstructuren handelt, trotz der principiellen Verschiedenheit zwischen der mikroskopischen und der directen Abbildung jener, die gewohnte Deutung der mikroskopischen Bilder als Abbilder zu Recht bestehen und es lassen sich demgemäss über die wahre Beschaffenheit der betreffenden Gegenstände völlig zutreffende Entscheidungen fällen.

Die eben dargelegten unanfechtbaren Thatsachen schliessen indessen keineswegs die Möglichkeit der Erkenntniss von Structuren mit sehr kleinen linearen Ausmaassen gänzlich aus. Es werden uns dieselben vielmehr dahin führen müssen, die Beobachtungsmethoden mehr und mehr auszubilden und in entsprechender Weise abzuändern, um uns z. B. mittelst Gewinnung von Bildern der Objecte in verschiedenen Lagen, in Quer-, Längs- und Secantenschnitten, mittelst Anwendung physikalischer und chemischer Hülfsmittel der mikroskopischen Technik weitere Aufschlüsse zu verschaffen, welche für die Beurtheilung nach den oben genannten Richtungen hin eine breitere Grundlage gewinnen lassen.

Unter allen Umständen aber muss das mikroskopische Sehen und die Beurtheilung des Gesehenen durch ausreichende Uebung erlernt werden. Es ist so zu sagen eine gewisse, von der Theorie geleitete, an der Hand steter Beobachtung der durch die mikroskopischen Objecte erzeugten Beugungswirkung geführten Erziehung nothwendig, um aus den durch das Mikroskop erhaltenen Gesichtseindrücken die verstandesgemässige Construction vornehmen, d. h. die mikroskopischen Bilder richtig deuten zu können.

Zweites Capitel.

Herrichtung der mikroskopischen Beobachtungsgegenstände.

Für die richtige und methodische Durchführung der in den meisten Fällen bei durchfallendem Lichte vorzunehmenden mikroskopischen Beobachtung und die dadurch herbeizuführende Gewinnung einer möglichst vielseitigen und klaren Auffassung der zu beobachtenden Gegenstände ist die passende Vorbereitung und Herrichtung derselben eine der unerlässlichsten Bedingungen. 245

Die allerwenigsten Gegenstände sind unmittelbar zu dieser Art der Untersuchung geeignet und bedürfen einer besonderen Zubereitung, um ihnen zunächst den nöthigen Grad von Durchsichtigkeit zu verschaffen, wobei es nöthig wird, die zu untersuchenden organischen Gegenstände, welchen eine völlige Undurchdringlichkeit für die Lichtstrahlen keineswegs an und für sich eigen ist, in so dünne Schichten zu zerlegen, dass die vermöge der physikalischen Beschaffenheit ihrer kleinsten Theilchen stattfindenden Brechungen, Absorptionen und Zurückwerfungen der aus der Luft oder der Beobachtungsflüssigkeit in sie eintretenden Lichtstrahlen zweckdienlich beschränkt und denselben ein möglichst freier Durchgang gestattet wird.

I. Anfertigung von Schnitten und Schliffen.

Hier und da, namentlich bei an sich schon platten zarten Gegenständen, mag zu dem erwähnten Zwecke eine mehr oder minder starke Quetschung oder ein Zerzupfen genügen. Im Ganzen ist dies ohnehin sehr beschränkte Verfahren aber zu roh, als dass man sich dessen mit Vortheil bedienen könnte. Die Hauptaufgabe wird daher für die grosse Mehrzahl der feineren histologischen Untersuchungen immer die Anfertigung sehr zarter Durchschnitte oder bei manchen (sehr harten) Objecten von dünnen Schliffen bleiben. 246

Zum Schneiden mit freier Hand ist dem Rasirmesser wegen der Sicherheit in der Führung und der Freiheit in der Bewegung im Allgemeinen vor allen dazu benutzten und empfohlenen schneidenden Instrumenten der Vorzug zu geben. Für manche Fälle wird man indessen auch von guten Scalpellen, sowie von der anatomischen und Cooper'schen Scheere mit Vortheil Gebrauch machen können.

Die Art und Weise des Gebrauches der schneidenden Instrumente zur Anfertigung der Schnitte wird einestheils durch die besondere Beschaffenheit der gerade herzurichtenden organischen Körper, anderentheils durch deren Grössenverhältnisse bedingt. Muss daher auch ein näheres Eingehen darauf den speciellen Untersuchungsmethoden in den folgenden Theilen vorbehalten bleiben, so dürfen wir uns doch hier einiger allgemeiner Anweisungen nicht enthalten.

247 **Schnitte von widerstandsfähigen Geweben.** — Am einfachsten und leichtesten ausführbar sind Schnitte durch solche Gewebe und Gewebetheile, welche bei hinreichender Grösse, um in freier Hand gehalten zu werden, dem Messer solchen Widerstand bieten, dass man es mit Sicherheit und Stetigkeit führen kann. Hat man hier erst die Schnittfläche gehörig geebnet und nach Bedürfniss diese sowie die Messerklinge mit etwas Wasser oder Alkohol befeuchtet, so fasst man den Gegenstand fest zwischen Daumen und Zeigefinger der linken Hand und schneidet dann, indem man die flach aufgelegte, vorher benetzte Klinge des Messers mit fester Hand stetig nach sich hinzieht. Wenn es sonst angeht, so wähle man den Gegenstand so aus, dass das Messer auf dessen geebneter Oberfläche eine möglichst grosse Leitfläche besitzt. Auf bedeutende Grösse des Schnittes kommt es in den meisten Fällen weit weniger an, als auf dessen Feinheit bei unverletzter Erhaltung der zusammensetzenden Elementarorgane. Um die zarten Schnitte von der Messerklinge abzuheben, bedient man sich eines fein gespitzten, etwas befeuchteten Haarpinsels.

Frische Hölzer, junge Zweige und saftreiche Triebe holzartiger Pflanzen u. dergl. lässt man zweckmässig einige Stunden bis einen oder mehrere Tage abtrocknen, weil es dann weit leichter ist, ganz untadelhafte Schnitte zu erhalten. Man thut indessen gut, sich von Zeit zu Zeit Kenntniss darüber zu verschaffen, ob der geeignete Zeitpunkt gekommen ist, wofür ein paar Probeschnitte ausreichen.

Harte Hölzer und andere harte Pflanzentheile, z. B. horniges Sameneiweiss der Palmen u. dergl., welche sich trocken nicht wohl schneiden lassen, weicht man einen oder einige Tage in Wasser oder auch — sofern dies zulässig erscheint — erst in verdünnte kaustische oder kohlensaure Alkalien und hierauf in Wasser ein, oder kocht sie auch längere Zeit darin, wonach dieselben weit leichter zu behandeln sind. Nicht zu harte oder zu weiche, mässig trockene Hölzer dagegen gewähren oft weit schönere und reinere Schnitte, wenn man sie trocken schneidet, als wenn man sie vorher einweicht. Harzreiche Hölzer bringt man einige Tage in Alkohol oder digerirt sie kürzere oder längere Zeit in starkem Weingeist, in welchem Falle man vor dem Schneiden ihre Schnittfläche sammt der Klinge mit demselben Mittel befeuchtet.

Zur Erlangung zarter Durchschnitte von sehr grosszelligen, stark vertrockneten Holzarten, ebenso von anderen trockenen Pflanzentheilen

(Rinden u. dergl.), deren Gewebe beim Schneiden leicht zerbröckeln oder zerreissen würden, benutze ich je nach Umständen die von Schacht empfohlene Injection mittelst geschmolzenen Stearins oder eine der gleich zu beschreibenden Einbettungsmethoden. Oft führt hier auch eine, kürzere oder längere Zeit dauernde Maceration in Alkalien die Schneidbarkeit herbei, indem sie die Gewebe erweicht und zusammenhangsfähiger macht.

Wo es sich um Schnitte von grösserer Ausdehnung handelt, welche bei nicht gerade äusserster Dünne über die ganze Fläche gleichmässig dick sein sollen, da ist die Anwendung des Mikrotomes angezeigt, welche indessen auch eine auf die geeignete Handhabung eingeübte Hand verlangt.

Behandlung weicher Gewebe. — Weit schwieriger, als von den vorigen, sind Schnitte von sehr weichen und saftreichen Pflanzen- und Thiergeweben zu erlangen, welche dem Messer einen so geringen Widerstand bieten, dass dasselbe weniger schneidet als zerreisst und quetscht. Bei den ersteren genügen für manche Fälle und namentlich wenn sie ziemlich grosszellig sind, weniger zarte Schnitte, welche man mittelst eines haarscharfen Rasirmessers mit dünner, hohlgeschliffener Klinge ziemlich leicht herstellen kann, wobei man die letztere zweckmässig vor dem Schneiden etwas stark benetzt. Sollen von Pflanzen- oder gar Thiergeweben zartere und dabei in grösserem Umfange gleichmässige Schnitte dargestellt werden, so erfordert das Rasirmesser eine sehr geschickte und sichere Führung und wird selbst dabei seine Dienste versagen. In manchen Fällen führt die schon von Schleiden empfohlene Behandlungsweise zum Ziele, welche sich auch auf manche weiche thierische Gewebe mit Vortheil anwenden lässt. Man tränkt nämlich den Gegenstand mit einer dicken Lösung von möglichst reinem und farblosem arabischem Gummi, welcher man, damit sie beim Erhärten nicht zu spröde wird, etwas Zuckersyrup (Syrupus simplex der Apotheken) oder einige Tropfen Glycerin zusetzt, und lässt diese an der Luft langsam eintrocknen. Die von den derart behandelten Gegenständen gewonnenen zarten Schnitte bringt man dann in ein Schälchen mit Wasser, welches das Gummi löst, während die Zellhäute durch Wasseraufnahme wieder ihre Spannung annehmen, so dass das Gewebe wie im frischen Zustande erscheint. Wo diese Behandlung nicht zum Ziele führt, namentlich auch da, wo zartere mit festeren oder härteren Gewebemassen abwechseln, führen die gleich zu beschreibenden Einbettungsmethoden meist sicher zum Ziele. Zum Schneiden wird man hier, wo es auf feinste Schnitte ankommt, das Rasirmesser anwenden, nur wo mehr oberflächliche Schnitte zu führen sind, da wird man, falls die allzugrosse Weichheit der Gewebe dessen Anwendung hinderlich ist, zu dem Seite 298 beschriebenen lanzettartigen Messerchen seine Zuflucht nehmen müssen. Beim Gebrauche dieses letzteren wird die mit Wasser befeuchtete Spitze flach unter der

248

Oberfläche eingestochen und parallel mit dieser fortgeschoben. Der auf solche Weise losgetrennte feine Abschnitt kann dann mittelst einer scharfen feinen Scheere vollständig abgelöst werden.

Sind nicht gerade Schnitte von frischen Geweben erforderlich, oder hat man von dem zu untersuchenden Objecte keine oder nicht merkbare Veränderungen in den Structurverhältnissen durch eine derartige Behandlung zu befürchten, so erleichtert man sich die Anfertigung feiner Schnitte wesentlich durch vorgängige Erhärtung. Diese bewirkt man je nach Umständen entweder mittelst Trocknens, Gefrierens oder mittelst Durchtränkens von solchen Flüssigkeiten, welche in ähnlicher Art wie jene Behandlungsweise wirken.

Trocknungsmethode. — Zum Trocknen, welches in neuerer Zeit überhaupt nur noch wenig Anwendung findet und sich nur für an Bindegewebe reiche Organe, z. B. für Muskeln, Epidermis, Lunge und die Krystalllinse eignet, verwendet man möglichst fettfreie, kleine, nöthigenfalls mit Nadeln auf passende Korkplättchen zu befestigende Stückchen des betreffenden Gewebes, die indessen immerhin eine solche Ausdehnung besitzen müssen, dass sie auch nach dem Einschrumpfen dem Messer eine noch hinreichend grosse Schnittfläche bieten. Man setzt dieselben, vor Staub geschützt, so lange einer Temperatur von etwa 40 bis 50° C. aus, oder bringt sie, wenn Erwärmung vermieden werden soll, so lange in einen der bekannten Schwefelsäure- oder Chlorcalciumapparate der chemischen Laboratorien, bis sie eine — je nach Erforderniss — wachs- bis hornartige Beschaffenheit und damit den erforderlichen Grad von Widerstandsfähigkeit gegen das Messer erlangt haben. Zur Beförderung des Trocknens kann man die hierzu bestimmten Gewebetheile oftmals mit Vortheil vorher in Wasser, Essig oder verdünnter Natronlauge kochen, in heisse, verdünnte Salpetersäure tauchen, oder 2 bis 3 Tage in Holzessig weichen.

Gefriermethode. — Die Erhärtung durch Gefrieren ist in neuerer Zeit vielfach und auf verschiedene Gewebe, z. B. Lunge, Leber, Niere, Milz, Drüsen, Muskeln, Nerven etc. angewendet worden. Man bewirkt dieselbe, indem man kleine Gewebestückchen auf Korkplättchen angefroren, am besten in einer der bekannten Kältemischungen einer Temperatur von — 6 bis — 15° C. aussetzt. Die Schnitte werden mit einer gleichfalls in die Kältemischung getauchten Klinge ausgeführt und in einer der oben beschriebenen indifferenten Zusatzflüssigkeiten untersucht. An dem Mikrotom hat man zum Zwecke dieser Härtungsweise eigene „Gefrierapparate" angebracht, welche es möglich machen, das zu schneidende Object unter dem dauernden Einflusse der niedrigen Temperatur zu erhalten. Obwohl die Gefriermethode in der Regel bessere Resultate liefert wie das Trocknen, so geht es dabei doch auch nicht ohne gewisse Eingriffe in die feinere Organisation ab, welche entweder schon bei dem Gefrieren selbst oder bei dem Aufthauen der angefertigten Schnitte hervorreten.

Härtungsmethoden. — Unter den erwähnten Umständen ist den betrachteten Methoden das Erhärten, welches durch längere oder kürzere Zeit dauernde Behandlung mit bestimmten Flüssigkeiten vollzogen wird, um so mehr vorzuziehen, als letztere meistens pflanzliche und thierische Protoplasmagebilde rasch abzutödten und damit in der ihnen im lebenden Zustande eigenthümlichen Gestaltung zu fixiren vermögen. Hierbei ist aber zu beachten, dass diese Flüssigkeiten immerhin in den Gewebeelementen und deren Inhalt mechanische und chemische Veränderungen sowie verschiedene Färbungen hervorbringen können, welche man von den Beobachtungsresultaten sorgfältig zu eliminiren trachten und mit denen man sich daher im Voraus durch eigene Anschauung bekannt machen muss.

Welche von den verschiedenen in Vorschlag gebrachten erhärtenden Flüssigkeiten und in welcher Concentration man sie in einem gegebenen Falle zu wählen hat, darüber müssen einestheils die chemische und histologische Zusammensetzung des betreffenden Gewebes, anderentheils die im zweiten Abschnitte des vorhergehenden Buches besprochene Wirkungsweise der anzuwendenden Lösungen entscheiden und haben darüber die speciellen Untersuchungsmethoden zu handeln. Im Allgemeinen finden die im Folgenden genannten chemischen Agentien die meiste Anwendung.

Verdünnter, etwa 10- bis 15procentiger Weingeist bringt unter allen erhärtenden Flüssigkeiten in manchen Geweben die geringsten Veränderungen hervor. Derselbe eignet sich namentlich für faserige Gewebe, welche darin so fest werden, dass man mittelst eines scharfen Messers leicht zarte Schnitte davon entnehmen kann. Stärkerer Weingeist, in welchem die Gewebe immer mehr oder weniger erheblich schrumpfen, verlangt eine sorgsame Verwendung. Am leichtesten gelangt man damit zu befriedigenden Resultaten, wenn man das zu erhärtende Gewebe zuerst in verdünnten, dann nach und nach in stärkeren Weingeist und endlich in absoluten Alkohol legt. Werden auch durch diese Behandlungsweise die betreffenden Objecte immer etwas in ihrer feineren Structur getrübt, so erhalten sich doch ihre Elementartheile gehörig gesondert, so dass man sie recht gut in ihrer natürlichen Abgrenzung erkennen kann, und ausserdem hat man in dem Glycerin ein vortreffliches Aufhellungsmittel solcher getrübten Präparate.

Pflanzengewebe bedürfen zur Erhärtung meist sofortiger Einwirkung von sehr starkem, bis wasserfreiem Weingeist, und habe ich bei sehr protoplasmareichen Geweben den Zusatz von ein paar Tropfen Nelkenöl vortheilhaft gefunden.

Für einzelne Gewebetheile eignen sich als Erhärtungsmittel vorzugsweise die Seite 325 beschriebenen Alkoholgemische, indem dieselben die erhärtende mit der aufhellenden Eigenschaft vereinigen.

Chromsäure und chromsaure Salze. Stark verdünnte 0,2- bis 2procentige Chromsäure wird häufig zum Erhärten verwendet und lässt sich auch für manche Gewebearten, namentlich für alle Theile

des centralen und peripherischen Nervensystemes, weit besser als der Alkohol gebrauchen. Sie hat aber die Unannehmlichkeit, dass sie den mit ihr behandelten Geweben eine gelbgrüne Färbung ertheilt, wodurch dieselben häufig etwas zu undurchsichtig werden, wogegen jedoch die Vermeidung zu starker Concentrationsgrade hinreichenden Schutz gewährt. Die Verwendung der Chromsäure bedarf überhaupt grosser Vorsicht, wenn man sein Ziel erreichen will, und man sollte es sich zur Regel machen, möglichst mit den stärkeren Verdünnungsgraden zu operiren. Je frischer der zu erhärtende Gewebetheil ist, desto verdünntere Lösungen sind anzuwenden. Am vortheilhaftesten bewährt es sich, wenn man die Erhärtung gradweise vornimmt. Zu dem Ende legt man nicht zu umfangreiche Stückchen in eine Lösung von 1 Theil Säure auf 500 Theile Wasser und geht dann nach einigen Tagen zu einer Lösung von 1 Theil Säure auf 200 bis 100 Theile Wasser über, in welcher das Gewebe so lange verbleibt, bis es den gewünschten Härtegrad erreicht hat, wozu je nach Umständen einige Tage, hier und da wohl auch einige Wochen erforderlich sind.

Statt der Chromsäure verwendet man auch das doppeltchromsaure Kali in der auf Seite 322 erwähnten Stärke. Bei sehr delicaten Structurverhältnissen gebraucht man das Salz in Verbindung mit der Säure, indem man zuerst eine 3- bis 5 procentige oder schwächere Lösung des ersteren und dann eine $^1/_{10}$- bis $^1/_4$ procentige der letzteren verwendet. Vor der Säure hat das Salz, das aber wegen der Eingriffe, welche es bei vielen Zellenarten in der feineren Structur veranlasst, weniger als diese verwendbar ist, den Vorzug, dass es keine Schimmelbildung aufkommen lässt.

Auch das als „Müller'sche Flüssigkeit" früher beschriebene Gemisch kann in ähnlicher Weise verwendet werden.

Alle mit Chromsäure und chromsauren Salzen erhärteten Gewebe müssen, bevor man sie weiterer Behandlung, Färbung etc. unterwirft, auf das Sorgfältigste von der Erhärtungsflüssigkeit befreit werden und sind daher mehrfache auf einander folgende Waschungen mittelst destillirten Wassers vorzunehmen und so lange fortzusetzen, bis jede Spur derselben verschwunden ist.

Will man in Chromsäure oder deren Salze oder in Müller'scher Flüssigkeit gehärtete Gewebe für längere Zeit erhalten, so kann man sie nach einer Mittheilung von Sanitätsrath Dr. Heusner in Kreuznach in mit einigen Splittern von Naphtalin versetztes destillirtes Wasser legen.

Salpetersäure kann in einigen Fällen Anwendung finden. Man muss aber die so erhärteten Präparate vor dem Schneiden sorgfältig mit Wasser aussüssen, um zu verhüten, dass die Messerklingen angegriffen werden.

Die Pikrinsäure wird in gesättigter, wässeriger Lösung angewendet und müssen die Gewebestückchen längere Zeit — bis 24 Stunden — in derselben liegen, ehe sie schnittfähig werden. Doch hat man sich

auch vor Ueberhärten zu hüten, da sonst Brüchigkeit eintritt und die betreffenden Objecte verloren gehen.

Sind grössere niedere Thiere, namentlich Seethiere im Ganzen rasch abzutödten, deren Protoplasmakörper zu fixiren und schnittfähig zu machen, so wird statt der Pikrinsäure allein zunächst zur Conservirung des Thierleibes das Kleinenberg'sche Pikrinschwefelsäuregemisch angewendet, welches man erhält, wenn eine gesättigte Pikrinsäurelösung mit 2 Raumtheilen concentrirter Schwefelsäure vermischt und die von dem entstandenen Niederschlage abfiltrirte Flüssigkeit mit der dreifachen Menge destillirten Wassers verdünnt wird. Entstehen beim Einlegen der Thiere in das Säuregemisch Trübungen, so ist dasselbe so lange zu wechseln, bis die Flüssigkeit klar bleibt. Die Dauer der Einwirkung richtet sich nach der Beschaffenheit der Thiere und ihrer Gewebe und kann einige Stunden, unter Umständen auch einige Tage erfordern. Die aus dem Gemische kommenden Objecte werden nun nachträglich, um sie schnittfähig zu machen, zuerst sorgfältig in 70 proc. Alkohol eingelegt und dieser so lange gewechselt, als noch wässerige Flüssigkeit aufgenommen und eine Spur von Pikrinsäure (durch gelbe Färbung) angezeigt wird.

Ueberosmiumsäure und Säuregemische. Auch die Ueberosmiumsäure (Osmiumsäure), sowie die Seite 319 beschriebenen Säuregemische bieten für manche Gewebe sehr brauchbare Härtungsflüssigkeiten. Es ist aber zu bemerken, dass mittelst der ersteren oder der Gemische, in denen sie vertreten ist, gehärtete Gewebe für nachherige Färbungen wenig günstig sind.

Das kohlensaure Kalium (1 Theil auf 4 bis 8 Theile Wasser) eignet sich zur Erhärtung einzelner und vorzugsweise solcher Gewebe sehr gut, welche nicht reich an Proteïnverbindungen sind.

Die Merkel'sche Flüssigkeit, eine Lösung von je 1 Gewichtstheil Platinchlorid und Chromsäure in 800 Theilen Wasser, eignet sich vorzugsweise zum Erhärten zarter Organe. Dieselbe gewährt einen grossen Spielraum in Bezug auf die Dauer der Einwirkung und besitzt vor den einfachen Chromsäurelösungen noch den Vorzug, dass sich die betreffenden Objecte nach Behandlung mit Alkohol ganz vortrefflich färben.

Sublimatlösung (1 oder 2 Theile Sublimat auf 100 Theile Wasser) hat nur bei der Untersuchung der Capillargefässe mit noch in ihnen enthaltenen Blutkörperchen, dann zur Erhärtung der Achsencylinder der Nerven Anwendung gefunden, da selbst bei einer so starken, wie oben angegebenen, Verdünnung die Gewebe einestheils zu stark schrumpfen, anderentheils sehr undurchsichtig werden. In neuerer Zeit verwendet man Sublimat in Verbindung mit Pikrinschwefelsäure und 5 proc. Essigsäure, oder mit Kochsalz und Essigsäure (auf 100 Theile Wasser 6 bis 10 Theile Kochsalz, 5 bis 8 Theile Essigsäure und 3 bis 12 Theile Sublimat) und nachheriger Behandlung mit 70- bis 90 proc.

Alkohol als Fixationsmittel für gewisse niedere Thiere wie Hydroiden, Ctemphoren, Korallen, Echinodermen, viele Anneliden, Rhabdococlen an (Lenz).

Holzessig scheint nur einer beschränkteren Verwendung fähig zu sein. Dagegen wird das von Professor Rindfleisch empfohlene Nelkenöl für die Erhärtung des Körperparenchyms niederer Thiere mit Vortheil benutzt werden können. Wenige Tropfen als Zusatz zu Alkohol befördern dessen erhärtende Eigenschaften, ohne den betreffenden Geweben wesentlich zu schaden.

Die mittelst einer der beschriebenen Methoden schnittfähig gemachten Objecte können, wenn sie eine ausreichende Grösse besitzen, ganz in derselben Weise zerlegt werden, wie die unter der vorhergehenden Nummer betrachteten. Sind dieselben dagegen von geringerer Grösse, so müssen sie nach einer der gleich zu beschreibenden Methoden behandelt werden.

249 **Durchschnitte ungleich harter, flacher und sehr kleiner Gegenstände.** Weit mehr Schwierigkeiten, als die Weichheit überhaupt, bietet der Herstellung eines guten Präparates eine sehr ungleiche Härte einzelner Gewebetheile dar. Um da, wo der Schnitt zugleich durch ganz weiche und harte Stellen geführt werden muss — wie dies z. B. bei Untersuchungen über die Entstehung der Elemente des Holzes und Bastes aus dem Cambium der Fall ist — bei dem Schneiden ein Zerreissen an den Uebergangsstellen aus den weichen in die härteren Partien möglichst zu vermeiden, verfährt man am besten so, dass man entweder aus den härteren in die weicheren Gewebetheile hinüberschneidet, oder dass man, indem die Klinge in schiefer Richtung gegen den Verlauf der verschiedenen Gewebepartien gehalten wird, den Schnitt zugleich durch sämmtliche Gewebetheile führt. Die allerschärfsten Messer und die behutsamste und sicherste Führung derselben sind hierbei unerlässliche Bedingungen zum Gelingen. Wo die Veränderungen in dem stickstoffhaltigen Zellinhalte nicht entgegenstehen, unterstützt man das Gelingen der Schnitte wesentlich dadurch, dass man — wie ich seit Jahren verfahre — den betreffenden Pflanzentheil während eines oder einiger Tage in Alkohol und darauf in eine Mischung von etwa gleichen Theilen Alkohol und Glycerin legt, wodurch die weicheren Gewebetheile eine grössere Widerstandsfähigkeit erlangen und die Ungleichheit in gewissem Maasse aufgehoben wird, so dass die Objecte eine gute Schnittfähigkeit gewinnen und ein Zerreissen beim Uebergange des Messers aus den härteren in die weicheren Gewebetheile möglichst ausgeschlossen bleibt. Auch die schon erwähnte allmälige Durchtränkung mittelst Gummilösung oder mittelst eines oder des anderen hierzu geeigneten Einbettungsmittels, welche wir bei diesen besprechen werden, leistet hier oft sehr gute Dienste.

Grössere, aber sehr dünne oder platte Gegenstände, welche sich unter dem Drucke des Messers umbiegen würden, wie zarte Pflanzen-

blätter, thierische Häute, feine Zweige, Blatt- und Blüthenstiele, Moosstengel u. dergl. schneidet man am zweckmässigten zwischen reinen, ausgesuchten Korkplättchen oder noch besser zwischen Plättchen von Hollunder- oder Sonnenblumenmark, welche sich namentlich für zartere, keinen starken Druck vertragende Gegenstände eignen. Man verfährt bei dieser Präparationsweise folgendermaassen. Zwischen zwei ebene oder mit den zu schneidenden Gegenständen angepassten Rinnen oder Anschnitten versehene Plättchen aus Kork, Hollunder- oder Sonnenblumenmark bringt man den Gegenstand in die geeignete Lage und presst dann einfach zwischen zwei Finger, oder umwindet mit einem mehr oder weniger scharf anzuziehenden flachen Bande oder Bindfaden. Zunächst bildet man eine glatte, ebene Schnittfläche und nimmt hierauf mittelst eines scharfen Messers zarte Schnitte quer durch die Plättchen, womit man zugleich äusserst feine Durchschnitte des zu untersuchenden Objectes erhält, die sich in Wasser gebracht leicht mittelst der Nadel von den anhängenden Kork- oder Markabschnitten trennen lassen. Gegenstände von sehr kleinem Durchmesser, wie Moosblätter, Haare, vereinigt man zweckmässig, ehe man sie zwischen das Hollundermark bringt, durch Glycerin-Gummilösung, weil sie dann eine grössere Schnittfläche von gleicher Beschaffenheit darbieten, was nicht wenig zum besseren Gelingen der Durchschnitte beiträgt. Für Körperchen von grösserer, doch nicht zu bedeutender Härte, wie kleiner Samen etc., bei denen der Unterschied gegen Kork oder Hollundermark so gross sein würde, dass er ein Hinderniss für die Gewinnung recht zarter Durchschnitte abgäbe, habe ich mit Vortheil dünne, mit kleinen Rinnen versehene Plättchen von weichen Laubholzarten, Pappel- oder Lindenholz, benutzt, mit denen ich den Gegenstand mittelst Gummilösung fest vereinigte.

Sehr weiche und zart organisirte kleine Gegenstände, welche selbst den Druck zwischen Hollundermark nicht vertragen würden, legt man in der richtigen Lage zwischen Daumen und Zeigefinger, welche man etwas befeuchtet hat, damit jene leichter anhaften. Schneidet man dann mittelst eines hohl geschliffenen Rasirmessers zwischen beiden durch, so erhält man den kleinen Körper halbirende Durchschnitte und kann hierauf, indem mit den beiden Hälften das gleiche Verfahren wiederholt wird, hinreichend dünne Plättchen von denselben gewinnen.

Einbettungsverfahren. Die Einbettung von an sich schnittfähigen oder von schnittfähig gemachten Objecten in solche Mittel, welche aus dem flüssigen Zustande in einen soweit erstarrten übergehen, dass sie eine sichere und reine Schnittführung gestatten, wurde zwar schon länger in beschränkterer Weise angewendet, hat aber erst seit der vielseitigeren und häufigeren Anwendung des Mikrotomes eine weitergehende Ausbildung erfahren. 250

Man bedient sich je nach Umständen zweier Arten von Einbettungsmassen, von denen die einen aus Gummi- und Leimlösungen für frische

oder die Behandlung mit Alkohol und flüchtigen Oelen nicht gut vertragende, die andere, in der Regel aus erstarrenden Fetten bestehenden, für gehärtete, das Schneiden unter Alkohol oder Terpentinöl gestattende Gegenstände geeigneter erscheinen. Unter allen Umständen muss die Einbettungsmasse soweit erstarren, dass dieselbe, ohne dass sie in ihrer flüssigen oder erstarrten Gestalt auf den zu schneidenden Gegenstand einen nachtheiligen Einfluss übt, beim Erstarren etwa gleiche Consistenz mit demselben erhält und sich fest und ohne Lücken mit ihm verbinden lässt. Eine weitere wünschenswerthe Eigenschaft besteht darin, dass beim Erstarren die Durchsichtigkeit erhalten bleibe und es so möglich gemacht werde, die Richtung des zu führenden Schnittes gegen das Object genau zu bestimmen.

Gummi- und Gelatinelösung. — Eine der ältesten Verfahrungsweisen ist die in der Pflanzenhistologie von Schacht u. A. angewendete Einbettung von ganz kleinen, mit dem blossen Auge kaum sichtbaren Körperchen, wie von Stärkemehl, Pollenkörnern, Sporen etc., indem man dieselben mit einer dicken, aus 10 g Gummi arabicum, 10 g Wasser und 40 bis 50 Tropfen Glycerin bestehenden Gummilösung mischt und eintrocknen lässt. Recht gut hat sich mir für diese Präparation das von Schacht empfohlene Verfahren erprobt. Eine dicke, bis 2 Zoll lange, durch einen sauberen Querschnitt an dem einen Ende völlig geebnete Stange von trockenem Hollundermark überzieht man mit einer Schicht der beschriebenen Lösung und lässt diese bei aufrechter Stellung der Stange eintrocknen. Hierauf trägt man eine zweite Gummischicht auf und streut in diese die betreffenden Gegenstände ein. Ist auch diese Schicht getrocknet, so trägt man eine dritte auf, so dass die kleinen Körperchen vollständig von Gummi umschlossen werden. Nachdem der passende Grad von Trockenheit erreicht ist, wobei das Gummi weder zu weich noch zu hart und spröde sein darf, macht man mit einem äusserst scharfen Rasirmesser höchst feine Durchschnitte. Ist man diesen erst einmal bis zu der mittleren Partie gelangt, dann erhält man in den zarten Schnitten der Gummimasse auch immer höchst feine Durchschnitte von den zu untersuchenden Objecten. Diese werden dadurch von dem anhängenden Gummi befreit, dass man sie auf einer Objecttafel in einen Tropfen Wasser bringt. Da man hierbei natürlicherweise die Richtung des Schnittes durch die kleinen Objecte nicht in seiner Gewalt hat, so werden zur Beobachtung immer nur einzelne Schnitte tauglich sein, die man erforderlichen Falles unter dem zusammengesetzten oder einfachen Mikroskope von den anderen trennen muss. Die hier beschriebene Einbettungsweise lässt sich natürlich auch für geeignete thierische Objecte in Anwendung bringen. Vertragen die einzubettenden, am besten schon vorher mit einer verdünnten Gummilösung durchtränkten Gegenstände die nachträgliche Einwirkung von Alkohol, so kann man auch unvermischte dicke Gummilösung anwenden, welche durch 1 bis 2 Tage dauerndes Einlegen in Weingeist (50- bis 70 proc.) in schnittfähigen Zustand

übergeführt wird. Bei Anwendung der beiden beschriebenen Massen hat man sorgfältig darauf zu achten, dass einestheils bei in Alkohol oder einer anderen das Gummi niederschlagenden Flüssigkeit erhärteten Objecten diese vorher völlig ausgezogen worden ist, und dass anderentheils keine Luftblasen in der Lösung entstehen. Nach einer anderen Methode kann man die kleinen Körperchen auch mit der Gummimasse zusammenkneten und dann mittelst einer innen geölten Papierhülse, in welche die Mischung eingefüllt wird, kleine Stäbchen herstellen, von denen sich äusserst zarte Schnittchen nehmen lassen. Sollen einzelne nicht zu kleine Objecte eingebettet werden, so fertigt man vierseitige Kästchen aus steifem Papier (Kartenpapier, dünnem Carton) an, giesst die Gummilösung hinein und hält ersteres mittelst feiner Nadeln oder Fäden in der gewünschten Lage fest, was bei der Durchsichtigkeit der Masse, welche ausserdem die Richtung der Schnittführung genau bemessen lässt, leicht ausführbar ist.

Eine der vorigen ähnliche Einbettungsmasse bildet die Glyceringelatine. Die Klebs'sche Masse wird erhalten, wenn man Hausenblasenleim in destillirtem Wasser aufquellen lässt, das letztere abgiesst, zu 2 Theilen Leim 1 Theil chemisch reines Glycerin hinzufügt und bis zum Flüssigwerden erwärmt. Die Kaiser'sche Glyceringelatine dagegen erfordert eine etwas weniger einfache Bereitung, besitzt aber, wie ich mich überzeugt habe, sehr gute Eigenschaften. Man weicht 1 Gewichtstheil reinster Gelatine etwa 3 Stunden lang in 6 Gewichtstheilen destillirtem Wasser ein, setzt 7 Gewichtstheile chemisch reines Glycerin zu und fügt auf 100 g der Mischung 1 g concentrirte Carbolsäure bei. Dieses Gemisch wird unter beständigem Umrühren etwa 10 bis 15 Minuten im Wasserbade erwärmt, bis keine von den beim Einschütten der Carbolsäure entstandenen Flocken mehr vorhanden sind und dann noch warm durch zuvor in warmem Wasser ausgewaschene und nass in den Trichter gebrachte Glaswolle filtrirt.

Die Einbettung erfolgt in der zuvor erwärmten Gallerte wie bei den vorher beschriebenen Flüssigkeiten und müssen die Objecte, wenn sie durchdrungen werden sollen, so lange — 1 bis 2 Tage etwa — in der flüssig erhaltenen Masse bleiben, bis dies vollständig erfolgt ist. Bei zarteren Objecten lässt man einfach eintrocknen, bei härteren versenkt man in absoluten Alkohol, welcher je nach 10 bis 30 Minuten dauernder Einwirkung einen verschieden hohen Grad der Erhärtung der Masse herbeizuführen vermag.

Collodium und Celloïdin. — In neuerer Zeit wurde von M. Duval das reine Collodium, von Schiefferdecker eine dem ersteren vorzuziehende und hier allein berücksichtigte Lösung von Celloïdin in gleichen Theilen Alkohols und Aethers als Einbettungsmasse für zarte Objecte empfohlen. Das gehärtete Object wird, wenn Ueberosmiumsäure oder dergleichen zum Härten verwendet werden, zunächst vollständig ausgewaschen, dann zur Entwässerung in Alkohol und wenn

erforderlich zuletzt in Aether gebracht. Aus dem Alkohol oder Aether wird in eine syrupdicke, wenn das Object völlig durchdrungen werden soll, in eine entsprechend verdünnte Lösung übertragen und so lange darin belassen, bis die betreffenden Gewebe vollkommen von dieser durchdrungen sind. Die Härtung der Einbettungsmasse erfolgt beim Einlegen in Weingeist von 80^0, welcher dem Celloïdin eine schnittfähige Consistenz verleiht, während dasselbe vollständig durchsichtig bleibt. In dem Weingeist kann das Präparat beliebig lange liegen bleiben und die Schnitte können in wässeriger Carmin- oder Hämatoxylinlösung gefärbt werden, da das Wasser das erhärtete Celloïdin nicht zum Schrumpfen bringt und genannte Mittel demselben keine oder nur eine sehr blasse Färbung ertheilen. Die Präparate werden in Glycerin eingelegt, wobei das Celloïdin nicht weggelöst zu werden braucht. Sollen dieselben in Canadabalsam aufbewahrt werden, so bringt man sie zur Entwässerung in 95 Proc. Alkohol, dann in Bergamott- oder Origanumöl (Nelkenöl löst die Celloïdinplättchen).

Die Calberla'sche Einbettungsmasse, welche eine Abänderung des Runge-Rosenberg'schen Gemisches von Natronalbuminat mit Talg bildet, zeichnet sich durch ihre Durchsichtigkeit aus, so dass sie beim Einlegen wie das Celloïdin nicht aus den Schnitten herausgelöst zu werden braucht. Zu ihrer Bereitung werden 15 Theile von den Hagelschnüren und der Dottermasse befreites, frisches Eiweiss mit 10 proc. Lösung von kohlensaurem Natron versetzt und lebhaft geschüttelt, dann hierzu die zu dem verwendeten Eiweiss gehörige Dottermasse unter kräftigem Umschütteln hinzugefügt, die Masse zum Absetzenlassen in ein tiefes Gefäss gegossen und der obenauf schwimmende Schaum sowie Dotterhautfetzen sorgfältig entfernt. Das durch mehrfaches Auswaschen vollständig von den betreffenden Conservirungs- und Erhärtungsflüssigkeiten befreite Object wird, je nachdem es sehr zart oder grösser ist, zunächst in Eiweiss und dann in die Einbettungsmasse oder sofort in die letztere eingelegt und vollständig damit durchtränkt, was schon nach kurzer Zeit — 5 bis 20 Minuten — geschehen ist. Nun bringt man das Object auf ein Stückchen gehärteter mit frischer Schnittfläche versehener Masse, bedeckt es mit einem Scheibchen gleicher Art, welches mittelst frischer Masse befestigt wird und setzt dann in einen kleinen Papiertrog ein, in den man so viel der Masse giebt, dass das Präparat etwa 1 bis 2 cm hoch bedeckt erscheint. Das Kästchen wird hierauf derart in eine Alkohol von 75 bis 80 Proc. enthaltende Schale eingesenkt, dass es etwa bis zur Hälfte seiner Höhe von diesem umspült wird. Die Schale setzt man jetzt in ein Wasserbad, dessen Temperatur so regulirt wird, dass der Alkohol nicht zum Kochen kommt, und stülpt einen Trichter über, um die Lösung durch $^1/_2$- bis $^3/_4$ stündige Einwirkung der heissen Alkoholdämpfe zur Gummiconsistenz zu bringen. Ist dies erreicht, so überträgt man in kalten Alkohol von 85 bis 90 Proc. und erreicht darin je nach öfterem Wechsel desselben die Schnittfähigkeit

binnen 24 bis 48 Stunden. Vor dem Einlegen werden die Schnitte, welche auch nachträglich noch gefärbt werden können, mittelst Fliesspapieres möglichst sorgfältig von der anhängenden Flüssigkeit befreit, in welche man sie gebracht hatte [1]).

Fetthaltige Massen. — Von den fetthaltigen Einbettungsmassen, welche des Einflusses der Temperatur etc. halber ein den Umständen entsprechendes Ausprobiren in Bezug auf ihre Beschaffenheit erfordern, sind das Paraffin, die Mischungen aus Wachs und Cacaobutter mit Oel, Stearin etc. die gebräuchlichsten und brauchbarsten.

Das Paraffin, welches nach Dr. Schulgin zu einer gut schnittfähigen Masse umgewandelt werden kann, wenn man einen solchen von 50° Schmelzpunkt nach Belieben Ceresin und, wenn man eine weichere Masse haben will, Vaselin zusetzt, bildet ein weit verbreitetes Einbettungsmittel. Handelt es sich darum, robustere, gehärtete Gegenstände einzubetten, so giesst man in die schon beschriebenen Papierkästchen nur eben bis zum Schmelzen erwärmtes Paraffin, so dass es den Boden einige Millimeter hoch bedeckt und lässt erstarren, auf diese Lage bringt man dann — nahe an das Ende der langen Achse des Kästchens — das vorher von der Erhärtungsflüssigkeit vollständig befreite, in Alkohol und Terpentin oder Nelkenöl behandelte, mittelst Fliesspapieres abgetrocknete Präparat und übergiesst unter sorgfältiger Vermeidung der Entstehung von Luftblasen mit einer neuen — das letztere wieder einige Millimeter hoch bedeckende — Menge Paraffins. Nach etwa einer Stunde ist die Masse soweit erstarrt, dass sie schnittfähig erscheint.

Bei einer ganzen Reihe von Objecten reicht indessen diese einfache Behandlung nicht aus, weil es bei ihnen darauf ankommt, dass sie von der Einbettungsmasse völlig durchtränkt werden. Hier hat man, wo es nöthig, zuerst alles Wasser zu entfernen, was dadurch geschieht, dass man das betreffende Object tage- ja wochenlang in absoluten Alkohol legt. Um diesen zu entfernen, hat dann eine gleiche Behandlung mit Terpentinöl oder Chloroform zu erfolgen. Hat dieses allen Alkohol aufgenommen, dann legt man zunächst in eine schwache, dann in mehr und mehr concentrirte Lösungen von Paraffin in Terpentinöl oder Chloroform ein — eine Operation, welche wieder längere Zeit erfordert —, um endlich in reines erwärmtes Paraffin einzuschmelzen. Das Schneiden geschieht hier wie bei der einfacheren Behandlungsweise am besten unter Benetzen von Schnittfläche und Messerklinge mit Alkohol. Aus den Schnitten wird das Paraffin durch Einlegen in Terpentinöl oder Chloroform herausgelöst.

Eine recht gute, sich der Consistenz der betreffenden Objecte je nach dem durch Vorversuche festzustellenden Verhältnisse der Gemengtheile und der Jahreszeit sich anschmiegende Einbettungsmasse bilden die Gemische aus feinem Wachs und Oel oder aus Wachs, Stearin

---

[1]) Die von Flemming empfohlene Transparentseifelösung scheint neuerdings aus verschiedenen Gründen wenig mehr benutzt zu werden.

und Oel und zum Einschmelzen der eingebetteten Objecte in die bei manchen Mikrotomen gebräuchlichen Metallcylinder oder Metallkästchen ein Gemisch aus 12 Theilen Schweinefett, 15 Theilen Stearin und 1 Theil weissen Wachs. Das Schneiden geschieht wie vorher und werden auch die Schnitte vor dem Einlegen wie dort behandelt.

Eine noch brauchbarere, nicht so sehr von der äusseren Temperatur beeinflusst werdende und gute Schnittfähigkeit besitzende Einbettungsmasse hat mir mein College Herr Professor v. Koch angegeben. Dieselbe besteht aus 2 Theilen Cacaobutter und 3 Theilen Spermacet, welche vorsichtig zusammengeschmolzen werden. Diese Masse kann auch wie das oben erwähnte Gemisch beim Mikrotom verwendet werden. Ausserdem eignet sich eine Lösung derselben, wie die oben erwähnten Lösungen des Paraffins, sehr gut dazu, um die Objecte allmälig von ihr durchdringen zu lassen.

Hat man zarte Objecte zu durchtränken, bei denen das Uebertragen aus Alkohol in Terpentinöl oder Chloroform eine Schrumpfung veranlassen würde, dann leistet das von Dr. Giesbrecht mitgetheilte Verfahren gute Dienste, indem es die Gefahr einer solchen beseitigt. Man füllt ein Cylinderglas theilweise mit absolutem Alkohol und lässt mittelst einer Pipette das Oel oder Chloroform darunter laufen, wonach sich beide Flüssigkeiten über einander lagern. Das Object lässt man nun in den überstehenden Alkohol fallen und hebt den Ueberfluss des letzteren ab. Sind die Objecte auf den Boden des Gefässes hinabgesunken, dann ist der Austausch der Flüssigkeiten erfolgt. Das Schwimmen der Präparate in dem schweren Chloroform verhindert man durch einen Zusatz von Aethyläther und dergleichen. Objecte, deren Durchdringung längere Zeit erfordert, behandelt man wie oben angegeben, bei rascher durchdringbaren erwärmt man dieselben sammt der betreffenden Flüssigkeit allmälig auf den Schmelzpunkt des Einbettungsmittels und wirft während dessen kleine Stückchen Paraffin etc. hinein um eine ganz allmälige Verdrängung jener durch die letzteren herbeizuführen. Diese ist vollzogen, wenn von den Objecten keine Bläschen mehr aufsteigen.

251 **Schliffe.** Eine ganze Reihe von Körpern, wie manche Samenschalen, Knochen, Zähne, Muschelschalen und dergleichen, lassen wegen ihrer bedeutenden Härte den Gebrauch selbst des besten und schärfsten Messers nicht mehr zu. Um von diesen Gegenständen zur mikroskopischen Beobachtung taugliche Durchschnitte zu erhalten, muss man zu Säge und Schleifstein greifen. Mittelst der früher beschriebenen feinen Uhrfedersäge schneidet man zuerst eine Lamelle aus, deren Dicke sich nach der Beschaffenheit des zu behandelnden Körpers richten muss. Frische Knochen, harte Fruchtschalen etc. gestatten z. B. Durchschnitte von Bruchtheilen eines Millimeters, während man von Zahnkronen, Muschelschalen und ähnlichen Gegenständen solche von mehreren Millimetern Dicke zu entnehmen hat, weil sonst ein Zerbrechen der Lamellen zu befürchten ist.

Eine mehr als unbedingt nothwendige Dicke schadet bei diesem Verfahren indessen nicht, weil man mit dem Schleifen doch immer noch schnell genug zum Ziele kommt.

Ist der Gegenstand gross genug, so hält man ihn beim Sägen einfach mit der linken Hand. Kleinere Gegenstände klemmt man zweckmässig in den früher erwähnten kleinen Handschraubstock oder in einen an dem Tische befestigten grösseren Schraubstock ein, oder kittet dieselben, wenn sie zu klein sind, auf Holz fest.

Die so gewonnenen Abschnitte müssen durch Schleifen weiter zubereitet werden, wobei man am zweckmässigsten die eine Fläche vollendet, ehe man zu der zweiten übergeht. Zu der ersten Bearbeitung verwendet man den auf S. 304 beschriebenen, während des Schleifens stets nass zu haltenden Schleifstein. Während man diesen mit der linken Hand dreht, wird der erforderlichen Falles auf ein Holzstäbchen oder eine Glasplatte festgekittete Abschnitt mit einem oder zwei Fingern der rechten Hand gegen dessen Seitenfläche gedrückt und mit dem Schleifen so lange fortgefahren, bis das Präparat die gewünschte Dünne erreicht hat, was in der Regel nach wenigen Minuten der Fall sein wird. Um die bei dem ersten Rohschleifen verursachten Unebenheiten, Streifen und dergleichen zu beseitigen, geht man nach jenem zu dem Schleifen auf einem harten, recht feinkörnigen Abziehstein über. Kleine Körperchen, welche man nicht mehr gut mit dem Finger über diesen Stein führen kann, bedeckt man dabei zweckmässig mit einem Stückchen Kork oder Leder, womit dieselben sich sehr gut festhalten lassen.

Hat man letztere Arbeit, unter stetem Nasshalten des Steines, so lange fortgesetzt, bis die beiden Flächen der dünnen Platte so glatt sind, dass der Stein nicht mehr länger wirken will, so geht man zum Poliren über. Dieses nimmt man am besten auf einem etwa 20 bis 25 cm langen, 8 bis 10 cm breiten Stückchen weichen Leders vor, welches, mit der glatten Seite nach oben gewendet, auf ein passendes Brettchen befestigt wurde. Als Polirmittel verwendet man gewöhnlichen Tripel, welchen man auf das Leder einreibt. Die ganze Operation wird ebenso vollführt wie das Feinschleifen. Man hat sich indessen, ehe die Arbeit als beendigt angesehen werden darf, stets durch Betrachtung bei auffallendem Lichte mittelst der Lupe oder des Mikroskopes zu überzeugen, ob eine vollkommene Glättung erreicht ist und nicht etwa noch hier und da Streifen übrig geblieben sind. Sollte dieses der Fall sein, so muss zu dem Polirriemen, und wenn jene zu tief sind, um durch das Poliren beseitigt werden zu können, zum Abziehsteine zurückgegangen werden, bis der erforderliche Grad von Vollendung erreicht ist.

Ist auf diese Weise die eine Fläche fertig gemacht, so geht man zu der zweiten über und unterwirft sie einer gleichen Behandlung. Man kittet zu dem Ende, um das Präparat, namentlich wenn es sehr dünn werden muss, nicht dem Zerbrechen auszusetzen, das Plättchen mittelst Canadabalsams auf einen Objectträger, was auch schon deshalb zweck-

mässig ist, weil man dann den Schliff öfter mittelst durchfallenden Lichtes betrachten und über den erforderlichen Grad von Durchsichtigkeit urtheilen kann. Hat man die gewünschte Dünne mittelst Schleif- und Abziehstein erreicht, so schreitet man zum Poliren, was wegen des als Kitt verwendeten Balsams immer einige Vorsicht verlangt. Es ist daher zunächst dafür Sorge zu tragen, dass der überflüssige Balsam am Rande des Präparates vollständig entfernt wird, weil derselbe sich beim Reiben erwärmen, erweichen und dann das Leder verunreinigen würde. Die Beseitigung gelingt leicht durch Abwischen mittelst Alkohols oder Aethers, wobei man übrigens darauf achten muss, dass das Lösungsmittel nicht auch unter das Präparat dringt und dort den Kitt auflöst. Bei solchen Präparaten, die gross genug sind und ohne Gefahr des Zerbrechens behandelt werden können, thut man am besten, wenn man sie ganz ablöst und sorgfältig von Balsam reinigt. Man führt dieselben dann mittelst des blossen Fingers über das Leder. Geht dies indessen nicht an, so darf das Plättchen nicht zu stark und nicht zu lange anhaltend gerieben werden, weil sich sonst der Balsam erwärmt und ersteres sich ablöst. Eine öfter wiederholte mikroskopische Betrachtung wird über den erreichten Grad der Vollendung Aufschluss geben. Aufgekittete Präparate können nach Erreichung der letzteren, falls man dieselben nicht unter einer bestimmten Flüssigkeit zu untersuchen oder aufzubewahren wünscht, nachdem die obere Fläche gereinigt ist, gleich mit einem Deckgläschen bedeckt werden und sind fertig. Die mit freier Hand polirten aber müssen nach vorhergegangener Reinigung gemäss einer der später zu beschreibenden Methoden eingelegt werden.

Fossile Gegenstände des Thier- und Pflanzenreiches lassen sich mittelst der beschriebenen Methode nur dann behandeln, wenn die versteinernde Masse aus kohlensaurem Kalke besteht. Kieselhölzer u. dergl. aber wird man, wenn man sich nicht einen Schleifapparat anschaffen will, selten selbst bearbeiten können.

Zur Herstellung von dünnen Schliffen solcher Objecte, welche aus Theilen von sehr verschiedener Consistenz zusammengesetzt sind, empfiehlt Professor G. v. Koch folgende Methode, bei der neben Erhaltung der zartesten Theile, Structur, Form und Lage der einzelnen Gewebeelemente sehr deutlich erkennbar bleiben.

Möglichst kleine Stücke des zu schleifenden Objectes werden mit irgend einer passenden Tinctionsflüssigkeit gefärbt und nach dem Auswaschen mittelst absoluten Alkohols vollständig entwässert. Hierauf bringt man die Stücke in eine Schale, welche mit einer ganz dünnen Lösung von Copal in Chloroform angefüllt ist und beginnt diese langsam — je langsamer dies geschieht, desto besser werden die Schliffe — einzudampfen. Ist die Lösung soweit eingedampft, dass sie sich in Fäden ziehen lässt, welche nach dem Erkalten spröde werden, so nimmt man die Stücke heraus und legt sie einige Tage lang auf eine schwach erwärmte Thonplatte, damit sie rascher hart werden. Haben sie eine

solche Härte erlangt, dass der Fingernagel keine Eindrücke mehr hervorbringen kann, dann schneidet man die Stücke mit einer Laubsäge in dünne Platten und schleift diese auf der einen Seite auf einem gewöhnlichen Abziehsteine eben und glatt. Dann kittet man die Platte mit der glatt geschliffenen Seite mittelst Canadabalsam oder Copallösung auf einen Objectträger und legt sie wieder auf die erwärmte Thonplatte. Ist das Präparat ganz fest geworden, so schleift man es zuerst auf dem kleinen Schleifsteine und dann auf einem Abziehsteine so lange, bis die erforderliche Dünne erreicht ist. Endlich reinigt man den Schliff gut durch Abspülen mit Wasser und legt in Canadabalsam ein.

Handelt es sich darum, geringe Mengen organisirter Substanzen in verkalkten Geweben nachzuweisen, so legt man den Schliff, ehe man ihn einschliesst, in Chloroform, bis alles Harz ausgezogen ist, entkalkt ihn dann vorsichtig und färbt ihn zuletzt. Noch schöner und ohne die geringste Veränderung ihrer Lage kann man die organisirten Theile darstellen, wenn man den Schliff entharzt, ihn dann mit sehr dickflüssigem Canadabalsam auf einen Objectträger aufkittet, hierauf bloss die freiliegende Hälfte vorsichtig entkalkt, dann auswäscht und färbt.

II. Isolirung der Elementarorgane und Entfernung störender Substanzen.

252 Für gewisse Untersuchungen reichen Durchschnitte nicht aus und man ist genöthigt, derartige Präparate noch weiter zu zerlegen. Dieses gilt namentlich für alle Fälle, wo es sich nicht allein um die relative Lage der ein Gewebe zusammensetzenden Elementartheile handelt, sondern wo man gerade diese selbst auf das Genaueste kennen lernen will.

Ebenso ist bei morphologischen Untersuchungen der Pflanzenorgane, bei der Entwickelungsgeschichte des Blattes und der Blüthe, bei Studien über die Befruchtung der Sporen- und Samenpflanzen etc., ferner bei der Untersuchung mancher niederen Thiere in der Regel die Anfertigung von Durchschnitten entweder gar nicht oder doch nur in beschränktem Maasse ausführbar und zulässig. Hier wird die im frischen Zustande oder nach vorgängiger Einwirkung chemischer Mittel vorgenommene Isolirung der entsprechenden Theile und eine Befreiung derselben von störenden, die Beobachtung hindernden Organen und Organentheilen am besten zum Ziele führen.

253 **Isolirung im frischen Zustande.** Man verwendet zu diesen Arbeiten die früher beschriebenen Präparirnadeln und präparirt entweder mit freiem Auge, mittelst der Lupe oder unter dem Mikroskope. In den schwierigeren Fällen, wo die zusammensetzenden Elementartheile sehr zart und klein sind, wird man immer zu den letzteren greifen müssen. So lange man nicht über eine 50 fache Vergrösserung hinaus zu gehen

nöthig hat, dienen die Präparirlupe und das in einfacherer Weise ausgestattete einfache Mikroskop diesem Zwecke am besten. Bedarf man höherer Vergrösserungen, so muss man sich dem vollständigeren Präparirmikroskop oder dem zusammengesetzten Mikroskope zuwenden, welches sich zu diesem Zwecke leicht herrichten lässt, wenn man das Nachet'sche umkehrende Prisma anwendet. In der Regel wird man aber kaum nöthig haben, zu diesen letzteren Hülfsmitteln zu greifen, sondern wenn man nur einmal mit Ernst den Versuch macht, ganz gut mit dem gewöhnlichen Mikroskope zum Ziele kommen.

254 **Maceration.** Während man die Isolirung mittelst der Nadeln bei den meisten thierischen Geweben in frischem Zustande vornehmen kann, bietet sich denselben bei der grössten Zahl der Pflanzengewebe und manchen Thiergeweben in deren festem Zusammenhange ein bedeutendes Hinderniss dar. Man muss bei ihnen daher noch eine vorbereitende Arbeit vornehmen, um durch künstliche Mittel eine so weit gehende Lockerung, beziehungsweise Trennung der Elementarorgane hervorzurufen, dass man die Nadeln mit Erfolg anwenden kann.

Eines der einfachsten Verfahren dieser Lockerung — Maceration — der Pflanzengewebe besteht darin, dass man kleinere, 1 bis 2 mm dicke, einige Millimeter lange Stückchen des vorzubereitenden Objectes in Wasser der Fäulniss aussetzt. Bei manchen Gegenständen, namentlich bei weicheren Pflanzentheilen, erfolgt die Lösung der die Gewebtheile verkittenden Substanzen nach einigen Tagen, bei anderen härteren Geweben bedarf es dagegen längerer Zeit, oft mehrerer Wochen, ehe man zum Ziele kommt. Ist durch den Gang der Untersuchung ein solches längere oder kürzere Zeit dauerndes Zuwarten ausgeschlossen, dann muss man zu einem rascheren Verfahren schreiten. Bei weichen Geweben mit grossen dünnwandigen Zellen genügt häufig schon kürzere oder längere Zeit dauerndes Kochen mit Wasser, um den Zusammenhang hinreichend zu lockern. Ein geringer Zusatz von Aetzkalilösung befördert die Wirkung oft noch. Aus stark verholzten Zellen zusammengesetzte Gewebe verlangen eine etwas energischere Behandlung. Bei ihnen wendet man das Kochen mit Aetzkalilauge oder mit dem Schultz'schen Gemisch von Salpetersäure und chlorsaurem Kali an. Zarte Quer- oder Längsschnitte bringt man in ein Uhrschälchen, giebt etwas Salpetersäure und einige Körnchen chlorsaures Kali hinzu und erwärmt dann vorsichtig kurze Zeit über der Spirituslampe, oder lässt das Gemisch bei der Zimmertemperatur längere Zeit kalt wirken. Die Maceration ist stets so zu leiten, dass die Schnitte noch nicht in ihre Elemente zerfallen. Hierauf bringt man das Uhrglas sammt seinem Inhalte in eine Schale mit reinem Wasser, fängt die umherschwimmenden Schnittchen auf einem untergehaltenen Objectträger auf, oder hebt sie mittelst einer Glasnadel oder des Präparirschaufelchens heraus und überträgt sie in ein Uhrgläschen mit Wasser, um sie über der Spirituslampe erst hierin und dann nochmals

in Alkohol auszukochen. Verfährt man bei diesen Operationen recht vorsichtig, so wird man selten ein Präparat verlieren und bei nachfolgender Anwendung von Reagentien eine Entwickelung von Säuredämpfen, welche auch in sehr geringen Mengen schädlich auf das Instrument wirken könnten, nicht zu fürchten haben. Wo die Behandlung zarterer Schnitte nicht ausdrücklich geboten ist, da zerkleinert man den betreffenden Gegenstand in Stücke von 1 bis 2 mm Dicke und entsprechender Länge, bringt diese in ein dünnwandiges Reagenzglas, fügt etwa das dem Gegenstande gleichkommende Volumen von chlorsaurem Kali hinzu, giesst so viel Salpetersäure auf, bis alles damit bedeckt ist, und erhitzt über der Spirituslampe so lange, bis eine lebhafte Gasentwickelung eintritt. Dann entfernt man den Reagenzcylinder von der Flamme, lässt das Gemisch noch einige Minuten einwirken und giesst den Inhalt in eine Schale mit Wasser. Hierauf kocht man die noch zusammenhängenden Stückchen ein- oder einigemale in Wasser, dann in Alkohol und zuletzt wieder in Wasser aus. Das Gewebe ist jetzt soweit gelockert, dass man dasselbe unter dem Präparirmikroskope mittelst der Nadeln in seine einzelnen Elemente zerlegen kann.

Die Maceration der thierischen Gewebe, deren Unterschiede in Bezug auf die zusammensetzenden Elementarorgane weit grösser sind als jene der Pflanzengewebe, verlangt mehr Besonderheiten in der Auswahl der Reagentien und deren Concentration sowohl, als in der sonstigen Behandlungsweise. Ausser dem, was bei Gelegenheit der Aufzählung der Reagentien in dieser Beziehung angedeutet worden ist, können daher hier nur einige kurze Hinweisungen Platz finden und es wird den speciellen Untersuchungsmethoden vorbehalten bleiben müssen, die bezüglichen Verfahrungsweisen näher zu erörtern.

Das Schultz'sche Macerationsgemisch findet hier nur eine beschränktere Anwendung und wird vorzugsweise da verwendet, wo es sich um Befreiung anderer Elemente, wie z. B. der Harncanälchen in der Niere etc. handelt, während die reine Salpetersäure in concentrirterem Zustande zur Isolirung der sogenannten Bindegewebkörperchen, sowie in der schon früher angedeuteten Weise gebraucht wird. Die Schwefelsäure dient vorzugsweise, um das häufig nur schwer sichtbare Epithel der thierischen Haare zu isoliren, dann zum genauen Studium der Horngebilde, deren Zellen dieselbe, in concentrirtem Zustande oder mit Zuhülfenahme von Wärme angewendet, isolirt und in Folge dessen deutlicher und bestimmter hervortreten macht. In höchst verdünntem Zustande, 1 Theil Säure auf 10000 Theile Wasser, ertheilt sie dem Bindegewebe, welches etwa 24 Stunden damit behandelt wurde, die Eigenschaft, sich in Wasser von etwa 40° C. aufzulösen, so dass in demselben vorkommende andere Formelelemente, Bindegewebezellen, elastische Fasern etc. leicht zur Anschauung gebracht werden können. Die Salzsäure löst nach etwa $^1/_2$ tägiger Einwirkung die Kittsubstanz der Bindegewebe auch in Verbindung mit Alkohol — 5 Raumtheile concentrirter Salzsäure auf 400 Raum-

theile 96 proc. Alkohol — kann dieselbe zu gleichen und ähnlichen Zwecken benutzt werden (Isolirung der Harncanälchen), wenn man die betreffenden Präparate mit der Mischung in einem mit einem Kühlrohre versehenen Kolben auf dem Wasserbade kocht. Endlich bietet sich in der höchst verdünnten Säure von 1 : 1000 bis 2000 ein ausgezeichnetes Mittel, um die Muskelfaser in ihre Querscheibchen zerfallen zu machen.

Als Isolationsmittel von elastischen Fasern, Nervenelementen, Drüsencanälchen wirken mässig verdünnte Lösungen von 1 Theil Aetzkali auf $1^1/_2$ bis 2 Theile Wasser ganz vorzüglich. Namentlich aber haben sich derartige Lösungen von 30 bis 35 Proc. für das Studium der Muskelgewebe von grösstem Nutzen erwiesen. Die contractilen Faserzellen der glatten Muskeln lassen sich mittelst derselben ganz ausgezeichnet isoliren und zur Anschauung bringen, wenn man die ersteren etwa 10 bis 20 Minuten mit der Lauge in Berührung bringt. Ebenso trennen sich die einzelnen Fäden der quergestreiften Muskeln bei einer gleichen etwa gleichlang dauernden Behandlung, indem die Kittsubstanz gelöst wird. Zur Demonstration des Verhaltens der Muskelfasern zu den Sehnen haben wir bis jetzt in der Aetzkalilauge von dem erwähnten Concentrationsgrade das einzige Mittel, vermittelst dessen erst in neuester Zeit die thierische Histologie zu bestimmten Resultaten gelangt ist. Als Zwischenmittel bei der Untersuchung der zartesten Nervenstructuren gebraucht man eine Mischung von 1 Tropfen Kalilauge auf etwa 30 g Wasser und lässt diese nach der Behandlung mit Chromsäure nur kurze Zeit (1 Stunde) wirken. Von den Kalisalzen wird die wässerige Lösung von übermangansaurem Kalium etc. meist in Verbindung mit Alaunlösung zur Isolirung von Bindegewebsfibrillen und der Hornhautfasern angewendet. Zu gleichem Zwecke dienen auch Kalk- oder Barytwasser, bei deren Anwendung jedoch, um die Bildung kohlensauren, die Gewebe trübenden Salzes zu vermeiden, die Maceration in geschlossenem Gefässe vorgenommen werden muss.

255 **Corrosions- und Verdauungsverfahren.** — Das Corrosionsverfahren, welches nach Hyrtl's Vorgang zuerst von Dr. Altmann auf mikroskopische Objecte angewendet wurde, besteht darin, dass man kleine Stückchen möglichst frischer Gewebe zunächst 5 bis 8 Tage lang in eine Mischung von 1 Theil Oliven- oder Ricinusöl, $^1/_2$ Theil absoluten Alkohol und Aether (von letzterem soviel, dass die vorher trübe Flüssigkeit vollkommen hell wird) einlegt, oder die darin vorkommenden Hohlräume, wie Blut- und Lymphgefässe, damit unter starkem Druck injicirt, dann in Wasser legt, das hierbei an der Oberfläche sich ausscheidende Oel entfernt, hierauf 10 bis 15 Minuten oder 1 bis 24 Stunden lang eine 1 proc. Lösung von Ueberosmiumsäure einwirken lässt und endlich mittelst unterchlorigsauren Natriums macerirt.

Das Verdauungsverfahren, welches sich in die Pepsinverdauung und die Trypsinverdauung gliedert, ist zuerst von Brinke

und Ludwig für die Gewebeuntersuchung angewendet, dann von Kühne weiter ausgebildet worden und es kann dasselbe sowohl auf Gewebestückchen als auf mikroskopische Schnitte angewendet werden.

Die erstere Isolirungsweise vollführt man mittelst eines aus Pepsin, Wasser und Chlorwasserstoffsäure, oder aus 110 ccm 0,3 proc. Oxalsäure und 1 ccm bestem Pepsinglycerin hergestellten künstlichen Magensaftes, indem man in mit dieser Flüssigkeit gefüllte Probirröhren gebrachte kleine Gewebestückchen in einer Brütmaschine einer etwa der des menschlichen Körpers gleichkommenden Temperatur aussetzt, oder Schnitte auf dem Objectträger unter Deckglas und in feuchter Kammer einer ähnlichen Behandlung unterwirft (für Schnitte genügt oft schon die Zimmerwärme). Man kann auf diese Weise die Muskelfasern und feine Nervenfasern isoliren, da Collagen und elastische Masse gelöst werden.

Die zur Trypsinverdauung erforderliche Flüssigkeit bereitet man, indem man frische Pankreas vom Rind zerkleinert und mittelst Alkohols und Aethers bis zur Erschöpfung auszieht, 1 Gewichtstheil der erhaltenen Substanz mit 5 bis 10 Gewichtstheilen 0,1 proc. Salicylsäure bei 40° C. 3 bis 4 Stunden lang digerirt, durch ein Leinwandläppchen abpresst und nach dem Erkalten filtrirt. Die erhaltene Flüssigkeit wirkt nun, wenn man sie in der gleichen Weise wie die vorhergehende gebraucht, zu ihrer Composition aber die geringste Säuremenge (5 Gewichtstheile) genommen hat, sonst ähnlich wie jene, löst aber die Bindegewebe nicht auf.

Entfernung störender Substanzen und Körper. Nächst den in dem Vorausgehenden behandelten Präparationen kommt noch die Entfernung solcher Substanzen und Körper in Betracht, welche entweder vermöge ihrer lichtbrechenden Eigenschaften oder insofern störend auf die Untersuchung wirken, als sie durch ihre Masse die zu beobachtenden Structurverhältnisse mehr oder minder verdecken und verdunkeln. Dahin gehört vor Allem die atmosphärische Luft, dann bei Pflanzengeweben: Stärkemehl, Harze, flüchtige oder fette Oele, Krystalle und dergleichen, bei Thiergeweben vorzugsweise Fette etc. 256

Entfernung der Luft. Die Entfernung der Luft gelingt am leichtesten dadurch, dass man das Präparat kurze Zeit in absoluten Alkohol legt, es dann in eine Schale mit Wasser und aus dieser auf das Objectglas überträgt. Wo der Alkohol störend auf den Inhalt der Gewebe wirken würde und dieses vermieden werden muss, bedient man sich am zweckmässigsten der Lupftpumpe, um die Luft zu entfernen, und evacuirt mittelst einiger Kolbenzüge, während das Präparat sich in Wasser oder in der betreffenden Aufhebeflüssigkeit befindet. Wenn man keine Luftpumpe zur Verfügung hat, muss man sich dadurch zu helfen suchen, dass man den Gegenstand einige Stunden in ausgekochtes Wasser oder längere Zeit, 1 bis 2 Tage, in die betreffende Zusatzflüssigkeit legt.

Beseitigung fester und flüssiger Substanzen. Stärkemehl welches in den Zellen eingeschlossen ist, sucht man durch Anwendung von Salzsäure, verdünnter Schwefelsäure oder Aetzkalilauge unschädlich zu machen, indem es von ersterer Flüssigkeit aufgelöst wird, in den beiden anderen aber so stark aufquillt, dass es ganz durchsichtig erscheint. Man muss indessen beachten, dass durch diese Mittel auch in den Geweben selbst und deren Inhalt chemische und physikalische Veränderungen veranlasst werden; namentlich hat man das Kali überall da zu vermeiden, wo man Gerbstoff in den Zellwänden oder im Inhalte vermuthen darf. Hat sich das Stärkemehl von den durchschnittenen Zellen aus über das Präparat verbreitet, so spült man es vorsichtig mittelst Wassers und eines feinen Haarpinsels fort.

Krystalle entfernt man, wo dies angeht, d. h. insofern als in dem Wasser des Objectträgers lösliche Verbindungen erzeugt werden können, mittelst eines Tropfens verdünnter Säure.

Führen diese Veranstaltungen nicht zum Ziele, so hilft oft das Auspinseln des Präparates. Diese zuerst von Professor His empfohlene Methode lässt sich zur Entfernung störender Körper sowohl bei vegetabilischen als bei thierischen Präparaten überall da anwenden, wo der Schnitt die erforderliche Festigkeit besitzt, um nicht beschädigt zu werden und man nicht zu fürchten hat, dass feinere Structurverhältnisse dadurch leiden. Man verfährt dabei so, dass man das Präparat reichlich mit Flüssigkeit umgiebt und unter stetem Erneuern der letzteren durch senkrechtes Tupfen mit einem Pinsel so lange bearbeitet, bis es hinreichend aufgehellt ist. Ein nachträgliches Bespülen hilft dann oft noch zu gutem Erfolge. Bei erhärteten Geweben hat man vorzugsweise darauf zu sehen, dass die Erhärtung weder zu gering, noch zu weit gediehen ist.

Um Harze, fette und flüchtige Oele zu entfernen, wendet man Benzin, Alkohol und Aether an. Die zwei letzteren dienen ausserdem bei den thierischen Geweben auch zur Entfernung des Fettes.

257 **Zerstörung der organischen Substanz etc.** Bei manchen Untersuchungen kommt als vorbereitende Arbeit zur Herrichtung des betreffenden Gegenstandes die Entfernung der organischen Substanz durch chemische Mittel oder durch Einäscherung in Betracht. Es gilt dies namentlich für alle die Fälle, wo eine Ablagerung von Kieselsäure in den Membranen einzelliger Organismen oder der Gewebe zu vermuthen ist und man sich über den Antheil derselben an dem Aufbau der letzteren oder über die feinere Structur des Kieselskelettes (Schalen der Diatomeen etc.) der ersteren ein Urtheil zu verschaffen wünscht. Wir wollen zunächst die Methode zur Herstellung von Präparaten der letzteren Art betrachten und dann die Reinigung der Diatomeen etc. anschliessen.

Am einfachsten erreicht man wohl für manche Fälle der Einäscherung das Ziel durch Glühen, d. h. durch einfache Verbrennung des zu untersuchenden Gegenstandes. So sehr sich indessen diese Methode

durch Einfachheit und dadurch auszeichnet, dass sie nur wenig Zeit in Anspruch nimmt, so sehr spricht gegen ihre allgemeine Anwendung der Umstand, dass man einen vollständigen Erfolg nur in seltenen Fällen erreicht.

Von manchen Objecten erhält man farblose und durchsichtige Kieselskelette, wenn man die Schnitte in einen Tropfen Schwefelsäure legt und glüht, andere verlangen eine Vorbehandlung und eignet sich hierzu nach H. v. Mohl am besten das Kochen des entsprechenden Gegenstandes mit Salpetersäure und chlorsaurem Kali. Dasselbe wird dabei so lange fortgesetzt, bis das Object vollständig entfärbt ist. Um hierauf jede Spur des Macerationsmittels zu entfernen, kocht man zuerst gut mit Wasser und dann mit Alkohol aus.

Das Glühen selbst nimmt man auf einem Glimmerplättchen, einem Platinbleche oder auf dem flachen Deckel eines Platintiegels vor. Ist das Präparat jedoch sehr zart und läuft man Gefahr, dasselbe leicht zu verlieren, so thut man besser, wenn dasselbe auf das Deckgläschen gelegt und mit diesem auf dem Platinbleche geglüht wird.

In neuester Zeit hat Sp. Miliarakis zum Ersatz der Verbrennung die Behandlung mit Schwefelsäure und Chromsäure empfohlen. Man bringt das Object dabei zunächst in concentrirte Schwefelsäure und behandelt es, bis es schwarz, beziehungsweise (zarte Objecte) missfarbig und halb durchsichtig wird, hierauf giebt man 20 proc. Chromsäure, dann nach und nach concentrirte Chromsäure zu und wäscht mit destillirtem Wasser aus.

Um Diatomeen und dergleichen in einem zur eigentlichen Präparation geeigneten Zustande, d. h. frei von gröberen Verunreinigungen zu erhalten, kann man verschiedene Wege einschlagen, je nachdem die betreffenden Organismen sich in lebendem oder todtem Zustande befinden. Lebende Diatomeen z. B. erhält man fast ganz rein, wenn man dieselben, sowie sie eingesammelt wurden, auf einen flachen Teller eben ausbreitet, mit Wasser übergiesst und dann mit einem möglichst gut angedrückten hinreichend grossen Stück Seidengaze bedeckt ans Licht stellt. Dieselben kommen dann nach oben und können von fast allen Verunreinigungen befreit abgeschöpft werden. Aus getrocknetem Material habe ich die Objecte in ziemlich reinem Zustande erhalten, wenn dasselbe mit einer hinreichenden Menge Wassers aufgeweicht, tüchtig durchgeschüttelt und nach Absetzen letzteres abgegossen wurde. Die lufthaltigen Kieselschalen schwimmen nämlich noch längere Zeit obenauf, während alle schwereren Beimengungen ziemlich rasch zu Boden sinken. Häufig wird man aber das Untersuchungsmaterial durch mehrfaches Sieben (man erhält in den Präparatenhandlungen die passenden Siebe von verschiedener Weite) von den gröberen und durch vorsichtiges Schlemmen von den feineren Verunreinigungen reinigen müssen. Ist die Reinigung bis zu dem gewünschten Punkte gelangt, so muss man sich zunächst davon überzeugen, ob kohlensaurer Kalk beigemengt ist oder nicht, was

an einer kleinen Probe mittelst ein paar Tropfen Salzsäure leicht geschehen kann. Ist ersteres der Fall, so kocht man zunächst mit Salzsäure und wäscht dann so lange aus, bis oxalsaures Ammoniak in dem Waschwasser kein Kalkoxalat mehr niederschlägt. Zur Zerstörung der organischen Substanzen sind verschiedene Methoden in Anwendung gebracht worden, von denen hier indessen nur einige von mir bewährt gefundenen angeführt werden sollen. Bei reinem Materiale genügt oft schon das $^1/_4$ Stunde oder länger dauernde Kochen in dem Schultz'schen Macerationsgemisch mit nachfolgendem längerem Auskochen in Wasser. Wo dies nicht ausreicht, führt folgende Verfahrungsweise zum Ziel. Das zu reinigende, vorbereitete Material wird mit etwas Wasser gemischt und je nachdem eine kleinere oder grössere Masse zu bewältigen ist, in einem Probircylinder oder in einer Kochflasche vorsichtig mit einer der Menge des Materiales entsprechenden Menge von englischer Schwefelsäure übergossen. Während man über der Spiritus- oder Gasflamme erhitzt, wird dann doppeltchromsaures Kalium hinzugegeben und so lange gekocht, bis nach dem Zugeben einer kleinen Menge des letzteren kein Aufschäumen mehr erfolgt, was ein Zeichen dafür ist, dass die organische Substanz zerstört ist. Hat man nur wenig Schwefelsäure hinzugesetzt, so kann tropfenweise Schwefelsäure nachgegossen und durch Einbringen von einigen Körnchen des Salzes der richtige Moment des Abschlusses der Operation ermittelt werden. Vor Allem hüte man sich, zu lange oder gar bis zum Trockenwerden der Masse zu kochen, weil dann durch die Bildung von unlöslichen Chromverbindungen das Material verdorben wird. Dass nach dem Kochen in irgend welchen der genannten Mittel ein vollständiges Auswaschen der Säuren vorzunehmen ist, versteht sich von selbst. Von dem jetzt noch vorhandenen feinen Sande befreit man die Kieselschalen durch mehrfach wiederholtes Schlemmen. Je nachdem man hierbei das über dem schwerer und daher rascher niederfallenden Sande überstehende, die Kieselschalen suspendirt enthaltene Wasser in kleineren oder grösseren Zwischenpausen abgiesst, kann man die kleineren und grösseren Formen in gewissem Maasse von einander getrennt erhalten. Ausser den Sandtheilchen enthalten die mit Säuren behandelten Diatomeen aber häufig noch flockige Massen, welche die Reinheit des Materiales trüben und die gefertigten Präparate unansehnlich, ja oft fast unbrauchbar machen. In diesem Falle stellt nachfolgendes Kochen mit Seifen- oder Ammoniakwasser meist die gewünschte Reinheit her, wenigstens habe ich in den meisten Fällen mittelst dieser Behandlung gute Resultate erhalten. Man muss sich aber hüten, die überstehende Flüssigkeit zu früh — z. B. wie das empfohlen wurde, schon nach einigen Minuten — abzugiessen. Man würde hierdurch meist eine ganze Anzahl kleinerer Formen einbüssen. Seife und Ammoniak sind vor dem Aufbewahren, was in Weingeist oder in mit Carbolsäure versetztem Wasser geschehen kann, vollständig auszuwaschen. Vor dem Anfertigen der Präparate wird zweckmässig noch auf einem Deckglase geglüht, wobei

man dieses, um dessen Krümmung zu verhüten, auf ein ganz ebenes Platinblech und letzteres auf eine flache entsprechend grosse Eisenblechplatte legt. Ich will indessen bemerken, dass bei gut gereinigtem Materiale das Glühen nicht unbedingt erforderlich ist.

III. Sichtbarmachung der Gewebeelemente und feineren Structurverhältnisse.

An die Isolirung durch Maceration und Nadel reihen sich zunächst diejenigen Einwirkungen an, die man mittelst jener Mittel zu erreichen sucht, welche unter dem Namen der „morphologischen" Reagentien aufgeführt werden. Diese Einwirkungen bezwecken nämlich gewisse Structurverhältnisse und Elementarorgane dadurch kenntlicher zu machen, dass man sie entweder aus dem Zusammenhange mit anderen löst, ohne sie gerade für sich isolirt darzustellen, oder dass man sie mit solchen Mitteln behandelt, welche ihre Verdeutlichung und Sichtbarkeit einerseits durch eine bestimmte Differenzirung ihrer Substanz, oder derjenigen der sie umgebenden Elemente, andererseits durch Färbung erhöhen.

Aufhellung der Gewebe. Als Aufhellungsmittel für Pflanzengewebe wird vorzugsweise das Aetzkali verwendet. In der thierischen Histologie sind neben Schwefel-, Chrom- und Salzsäure namentlich die Essigsäure, verschiedene flüchtige Oele, Kreosot etc. und in einigen Fällen, auch das Aetzkali oder Aetznatron als sichtbar machende Mittel in Gebrauch. 258

Die Schwefelsäure dient vorzugsweise, um das häufig nur schwer sichtbare Epithel der thierischen Haare zu isoliren, dann zum genauen Studium der Horngebilde, deren Zellen dieselbe, in concentrirtem Zustande oder mit Zuhülfenahme von Wärme angewendet, isolirt und in Folge dessen deutlicher und bestimmter hervortreten macht. In höchst verdünntem Zustande, 1 Theil Säure auf 10000 Theile Wasser, ertheilt sie dem Bindegewebe, welches etwa 24 Stunden damit behandelt wurde, die Eigenschaft, sich in Wasser von etwa 40° C. aufzulösen, so dass in demselben vorkommende andere Formelemente, Bindegewebezellen, elastische Fasern etc. leicht zur Anschauung gebracht werden können.

Die Chromsäure bildet ein vortreffliches Hülfsmittel bei der Untersuchung des centralen Nervensystemes. Hier dient sie nach O. Deiters namentlich zum Nachweise der feineren Zellenfortsätze und dergleichen. Man darf das Reagens dann aber nur in den feinsten Verdünnungen, 1 Theil Säure auf 5000 bis 10000 Theile Wasser anwenden, und verbindet damit zweckmässig die Einwirkung stark verdünnter Alkalien und einer 0,2- bis 0,1 proc. Lösung von doppeltchromsaurem Kali.

Die Salzsäure dient in weniger stark verdünntem Zustande (5 bis 10 : 100) vorzugsweise dazu, um den Knochenknorpel zur Darstellung zu bringen, indem sie die Kalksalze der Knochen löst und jenen zurücklässt. Es lösen sich in derselben ferner die leimgebenden Substanzen und es bleiben die von denselben eingeschlossenen Knochenknorpel und Bindegewebszellen isolirt zurück. Bei sehr starker Verdünnung (1 : 1000) hellt sie das Bindegewebe vorzüglich auf und lässt dessen übrige Formelemente, wie Zellen und elastische Fasern, deutlich hervortreten. Ebenso lässt sich durch die gleiche Verdünnungsstufe das Sarkolemma der Muskelfasern prachtvoll zur Anschauung bringen, indem nach der Lösung des Inhaltes die umgebende Scheide zurückbleibt. Vorzüglich schöne Präparate erhält man hier, wenn erst die soeben erwähnte höchst verdünnte Schwefelsäure eingewirkt hatte.

Eine ausgedehnte Anwendung zur Aufhellung von Structurverhältnissen findet die Essigsäure. Zur Sichtbarmachung der Zellkerne von Pflanzengeweben wurde sie schon früher angewendet. Ebenso ist sie geeignet, die Kerne der thierischen Zellen im Ganzen dadurch deutlicher hervortreten zu lassen, dass sie die meisten Zellen und Gewebe aufquellen und dadurch durchsichtiger macht, oder dass sie selbst Zellhülle und Inhalt auflöst, während die Kerne fast unverändert bleiben. In gleicher Weise macht sie die elastischen Fasern, die Bündel glatter Muskeln, die Gefässe, Nerven und Zellen, welche in dem Bindegewebe eingebettet sind, leichter sichtbar, indem sie letzteren einen hohen Grad von Durchsichtigkeit ertheilt. Vorzügliche Dienste leistet dieses Reagens auch bei der Untersuchung des Nervengewebes. Die Nervenhüllen verkürzen sich durch dessen Einwirkung und es tritt aus den Schnittenden der Achsencylinder neben der granulirten Marksubstanz hervor; die Nervenzellen erhalten dadurch schärfere Umrisse, und Kerne wie Inhalt werden deutlicher. Vor Allem aber eignet sich eine sehr starke Verdünnung, von ein paar Tropfen concentrirter Säure auf etwa 60 ccm Wasser, zur Aufhellung der Muskeln, in denen man den Verlauf der Nervenendigungen zu studiren wünscht.

Das Aetzkali wird zur Aufhellung von sehr protoplasma- oder stärkereichen Pflanzengeweben in verdünnter Lösung angewendet, in welcher man die betreffenden Präparate, je nachdem die Aufhellung schneller oder weniger schnell erfolgt, kürzer oder länger verweilen lässt, und dann nach Auswaschen mittelst Essigsäure oder verdünnter Salzsäure neutralisirt. Ist die Aufhellung zu stark, so kann Alaunlösung dazu dienen, um den richtigen Durchsichtigkeitsgrad herzustellen. Sind dabei durch Neutralisation die Gewebe zu stark verdunkelt worden, so leistet Ammoniakwasser — dessen Anwendung selbstverständlich Auswaschen vorhergehen muss — gute Dienste. Hier und da gelingt der gewünschte Grad der Aufhellung nicht ganz und es wird dann nöthig, die Procedur einige Male zu wiederholen (Hanstein). Da durch das Aetzkali die Zellhüllen sehr stark zum Quellen gebracht werden, verwendet man

statt der reinen Lösung besser das Seite 320 beschriebene Gemisch mit Alkohol, welches das starke Aufquellen verhindert. Eine Mischung von Kalilauge und Glycerin leistet ebenfalls gute Dienste.

In der thierischen Histologie wird die Kalilauge namentlich zur Aufhellung der Structur der Horngewebe gebraucht, indem deren Zellen darin aufquellen, wodurch sie eine kugelige Gestalt annehmen und bestimmter zu erkennen sind.

Unter den flüchtigen Oelen wird Citronenöl und mit gleich gutem Erfolge Nelkenöl bei Untersuchung der Pollenkörner zur Aufhellung verwendet, während das letztere wie Terpentinöl, Kreosot, zur Aufhellung von in Alkohol gehärteten thierischen Gewebeschnitten, das Chloroform — nach vorheriger Behandlung mit Weingeist und Aether —, sowie das Collodium zur Aufhellung von Nervenpräparaten, letzteres namentlich zur besseren Sichtbarmachung des Achsencylinders verwendet werden.

Plasmolyse. In vielen Fällen wird die Anwendung der sogenannten endosmotischen Reagentien, wie Alkohol, Zuckerwasser, Kochsalzlösung etc. in mehr oder minder hohen Verdünnungsgraden von Wichtigkeit, welche den eigentlichen lebenden Zellkörper, sammt den von ihm umschlossenen Zellinhalte von der festen Zellwand abziehen und dadurch zur Anschauung bringen. Bei der Anwendung bringt man entweder Stückchen der betreffenden Gewebe in die anzuwendende Flüssigkeit oder man setzt diese Reagentien in der weiter unten bei den chemischen Reactionen näher geschilderten Weise der Zusatzflüssigkeit tropfenweise zu, um einestheils die Steigerung der Einwirkung in der Hand zu haben, anderentheils die hervorgerufenen Erscheinungen gradweise verfolgen und studiren zu können. 259

Fixirung der Zell- und Kernsubstanz. In neuerer Zeit hat die — zugleich Erhärtung im Gefolge führende und damit auch die Schnittfähigkeit befördernde — Fixirung der Zell- und Kernsubstanz, zu der vorzugsweise Alkohol, Essigsäure, Pikrinsäure, Osmiumsäure, Salpetersäure, Chromsäure und chromsaure Salze, sowie die früher erwähnten Säuregemische und für manche Pflanzengewebe auch sehr verdünnte Lösungen von Sublimat und Alaun in Anwendung kommen, eine hohe Bedeutung als sichtbarmachende Veranstaltung erlangt und es dient dieselbe namentlich auch als Vorbereitung für die Färbung. 260

Die Wirkungsweise der Fixirungsmittel beruht vorzugsweise auf der fast augenblicklichen Abtödtung der Zell- und Kernsubstanz und einer damit Hand in Hand gehenden, die im lebenden Zustande vorhandene Structur nicht oder doch nicht wesentlich beeinträchtigenden physikalischen Umwandlung der feinsten Elemente des Aufbaues, welche die Sichtbarkeit in mehr oder minder hohem Maasse erhöht.

Der Alkohol, welcher allerdings hier und da Gerinnung des „Kernsaftes“ hervorruft, ist da, wo es sich um die Fixirung der lebenden

Zellensubstanz und der Kernstructur handelt, möglichst wasserfrei und unter Umständen sogar in kochendem Zustande zu verwenden.

Die oben genannten Säuren werden zu den vorliegenden Zwecken in den auf Seite 315 u. f. angegebenen Verdünnungen angewendet und dürfte es sich bei dem Gebrauch an noch nicht bekannten Objecten empfehlen, zunächst und zwar soweit möglich unter Vergleich mit lebenden Objecten Versuche über die Wirkungsweise der verschiedenen Säuren selbst, sowie ihrer verschiedenen Verdünnungsgrade auf die betreffenden Objecte anzustellen, um sich zu versichern, dass nicht etwa tiefer eingreifende Veränderungen in der Structur der Zell- und Kernsubstanz wie Schrumpfungen, Kräuselungen, Verbiegung und Verschiebung der Kernfäden etc. hervorgerufen werden. Weiter bleibt in Bezug auf die Wirkungsweise noch Folgendes zu erwähnen. Die Chromsäure ruft die erwähnten Veränderungen noch am häufigsten hervor, dagegen ist sie überall da von vorzüglicher Verwendbarkeit, wo es sich um sehr scharfe, unter allen Umständen erst nach sorgfältigstem Auswaschen vorzunehmende Färbungen handelt, während in Pikrinsäure sowie in Osmiumsäure fixirte Präparate nur schwierige und wenig hervortretende Färbungen zulassen. Chromsaure Salze sind, wie schon früher hervorgehoben, nur in beschränkter Weise zu verwenden. Die früher S. 319 besprochenen, sowie die in neuester Zeit von Flemming empfohlenen stärkeren Säuregemische von 15 Vol. 1 proc. Chromsäure, 4 Vol. 2 proc. Osmiumsäure, 1 Vol. (oder weniger) Eisessig, eignen sich überall da vorzüglich als Fixationsmittel, wo es auf möglichst getreue Erhaltung der während der Kerntheilungsvorgänge auftretenden „chromatischen Figur“ ankommt und verdanken sie ihre gute Wirkung in dieser Beziehung dem Umstande, dass durch die Osmiumsäure eine rasche Abtödtung erfolgt, während die übrigen Säuren die Verschärfung der Kernfigur bedingen. Bei den in diesen Gemischen fixirten Präparaten lassen sich nach Flemming Färbungen der chromatischen Figur mittelst Hämatoxylin, Pikrocarmin und Gentianaviolett gut für die Essig-, Chrom- und Osmiumsäuregemische ausführen, während die Mitfärbnng der „achromatischen Figur“ nur an Chrom-Essigsäurepräparaten hinreichend gelingt.

Alle Gewebe, welche zum Studium der Kern- und Zelltheilung dienen sollen, müssen kurz nach dem Einlegen in die betreffenden, sofort wirkenden Fixationsmittel weiter behandelt und beobachtet werden, da längeres Verweilen in denselben verschiedene Veränderungen hervorrufen und die naturgetreue Fixirung der Structur fraglich machen kann.

261 **Färbung und Imprägnation der Elementarorgane.** Die Färbung gewisser Gewebetheile, sowie der Zell- und Kernsubstanz mittelst nicht chemisch wirkender passender Flüssigkeiten, sowie durch das Licht leicht reducirbarer, sich in Gestalt äusserst kleiner Körnchen niederschlagender Metallverbindungen hat in der gesammten Histologie eine weite Aus-

dehnung und eine hoch gesteigerte Ausbildung ihrer Methoden erlangt und es kommt derselben als Hülfsmittel der exacten mikroskopischen Beobachtung eine kaum zu überschätzende Bedeutung zu.

Man verfolgt bei dieser Methode der Vorbereitung der Beobachtungsobjecte verschiedene Zwecke. Erstlich wendet man die — und zwar einfache — Färbung überall da an, wo sehr zarte, farblose, thierische oder vegetabilische Membranen, Fasern, Zwischensubstanzen und dergleichen einen so hohen Grad von Durchsichtigkeit besitzen, dass dieselben entweder gar nicht oder doch nur höchst unvollkommen in ihren wahren Structurverhältnissen zur Anschauung kommen. Zweitens aber, und dies ist wohl der wichtigere Fall, bezweckt man damit die Sichtbarmachung gewisser Theile der Elementarorgane, der Kerne und des Zellenleibes oder einzelner, in Verbindung mit anderen vorkommender Elementarorgane selbst, um sie so gleichsam, erstere wie letztere, isolirt zur Anschauung zu bringen und ihr Verhältniss zu den umgebenden constituirenden Substanzen und Gewebetheilen zu ermitteln und nimmt dabei sowohl einfache Färbung und Imprägnation als Doppelfärbung und sogar mehrfache Färbung in Gebrauch.

262 Einfache Färbung. Zu dem ersteren Zwecke hat man die Färbung schon seit lange angewendet und eignen sich hierfür je nach Umständen verschiedene der früher beschriebenen chemischen Reagentien, indem dieselben entweder mechanisch in die betreffenden Membranen etc. eingelagert werden oder mit ihnen chemische Verbindungen eingehen.

Zur Darstellung mancher Structurverhältnisse der vegetabilischen Zellhüllen, zur Erkennung von zarten Streifungen, sehr dünner Membranen und dergleichen, zur Entscheidung, ob kleine Poren mittelst einer feinen Haut verschlossen oder offen sind, eignet sich die Färbung mittelst einer starken alkoholischen Jodlösung ganz gut, möchte aber besser noch durch die blaue Färbung, welche Jod und Schwefelsäure in nicht verholzten Zellstoffhüllen hervorrufen, zu ersetzen sein, die durch chemische Wirkung erzielt wird. Die feinen Wimpern der Schwärmsporen und Samenfäden bringt man wiederum durch Jodlösung zur Ansicht, welche zugleich die Bewegungen aufhebt. Ebenso eignet sich dieses Mittel zur Sichtbarmachung zarter thierischer Zellhäute, feiner Fasern und Wimperfortsätze, durch Wasser unsichtbar gewordener Blutkörperchen und dergleichen.

In ähnlicher Weise wie Jodlösung wirkt auch eine nicht zu sehr verdünnte Chromsäure. Für manche Objecte der thierischen Histologie dürfte dieselbe der Jodlösung insofern noch vorzuziehen sein, als sie auf solche nicht bloss färbend wirkt, sondern auch nebenbei deren Brechungsvermögen ändert und dadurch ihre Ränder und Grenzlinien deutlicher hervortreten macht.

An Stelle dieser immerhin hier und da nebenbei noch in anderer, als der gewünschten Weise wirkenden Mittel kann man auch in vielen

Fällen die Anilinfarben, sowie Hämatoxylin in wässeriger oder weingeistiger Lösung verwenden, von denen erstere die verholzten, letztere die nicht verholzten Pflanzenzellwände sehr stark färben und zur Erkennung der genannten Structurverhältnisse ein höchst brauchbares Hülfsmittel bilden.

Zu jenen, von Dr. Th. Hartig zuerst in der Pflanzenhistologie und später von Professor Gerlach in der thierischen Gewebelehre eingeführten Färbungen, wie sie der zweite Fall verlangt, sind die in dem vorigen Abschnitte beschriebenen Lösungen von Farbstoffen vorzugsweise und allgemeiner in Gebrauch gekommen und unter ihnen gewähren namentlich die haltbareren und sicher wirkenden verschiedenen Lösungen von Carmin, Cochenille, Hämatoxylin und einzelnen Anilin- und Azofarbstoffen die grösste Verlässlichkeit.

Verschiedene Gewebe verhalten sich den einzelnen Färbemitteln gegenüber verschieden und verlangen eine entsprechende Behandlungsweise, auf welche die besonderen Untersuchungsmethoden einzugehen haben, während wir hier das Färbeverfahren nur in allgemeinen Zügen darstellen können.

Zur Färbung mittelst der gedachten Lösungen kann man sich je nach Umständen einer stärkeren oder geringeren Verdünnung mittelst Wasser bedienen. Namentlich ist diese Verdünnung für einzelne der Carminlösungen zu beachten, welche in zu hohem Grade der Concentration leicht diffuse Färbungen bewirken und so die Präparate verderben. Andere Lösungen lassen sich meistens in der Form benutzen, wie man sie sich nach den S. 329 u. f. gegebenen Vorschriften bereitet hat. Mehrfache Versuche und Erfahrungen werden hier die besten Führer sein, im Allgemeinen möchte ich jedoch dazu rathen, wo es die Beschaffenheit resp. die Färbefähigkeit der Gewebe irgend gestattet, möglichst verdünnte Lösungen in Gebrauch zu nehmen und dieselben etwas länger einwirken zu lassen.

Die Färbeflüssigkeit bringt man, soweit es sich nicht um die Färbung grösserer Gewebestücke oder ganzer niederer Thiere handelt, bei der Anwendung in ein Uhrschälchen und trägt dann die zu behandelnden Schnitte mittelst eines fein ausgezogenen Glasstabes oder des Präparirschäufelchens ein. Die Zeit des Verweilens der Präparate in der Flüssigkeit muss sich erstlich nach deren Concentration und färbendem Vermögen und dann nach der Beschaffenheit des Objectes richten. Unter Umständen wird das Einlegen während einer bis einiger Minuten genügen, wie z. B. bei der Grenacher'schen Alaun-Carminlösung, bei der essigsauren und alkoholischen Carminlösung, den Hämatoxylin-, Eosin- und Anilinlösungen, unter anderen Verhältnissen wird man das Object einige Stunden oder noch länger mit dem Färbemittel in Berührung lassen müssen, wie z. B. bei der verdünnten Gerlach'schen Carminlösung, bei der Purpurinlösung, bei Lang's Eosin- und Pikrocarminlösung. Einige Uebung in der Beurtheilung der Farbenintensität wird leicht erworben werden, und dann den verschiedenen beeinflussenden Umständen entsprechenden, richtigen Moment des Herausnehmens treffen lassen.

In vielen Fällen wird übrigens eine durch etwas zu langes Verweilen — namentlich in concentrirteren Farbstofflösungen — veranlasste Ueberfärbung keine erheblichen Nachtheile bringen und sich durch vorsichtiges Auswaschen beseitigen lassen.

Eine absichtlich herbeigeführte Ueberfärbung bedingt das von Professor Flemming weiter ausgebildete, sich vorzüglich bewährende Boettcher-Hermann'sche Kernfärbungsverfahren von Schnitten in Chromsäure von 0,1 bis 0,5 Proc. fixirter Präparate mittelst Anilin- und Azofarbstoffen (von den früher genannten, namentlich Saffranin, Dahlia, Magdalaroth, Fuchsin, Solidgrün), wobei die Schnitte etwa 12 bis 24 Stunden — um sie leichter wieder aufzufinden — in wenig Lösung verweilen müssen.

Das gefärbte Präparat muss, ehe es zur Beobachtung und Aufbewahrung gelangt, je nach der Art des Färbe- und des zu wählenden Einhüllungsmittels, wie früher im Einzelnen angegeben, am besten in weissen Porcellanschälchen oder in auf weisse Unterlage gesetzten Uhrgläsern zunächst entweder mittelst destillirten Wassers, dem unter Umständen ein paar Tropfen einer Säure zugesetzt werden können, oder mittelst Alkohols von entsprechendem Procentgehalte — erforderlichen Falles unter Schütteln oder Bewegen — so lange ausgewaschen werden, bis keine Farbwolken mehr sichtbar werden. Dann wird es entweder unmittelbar — beim Einschluss in wässerige Flüssigkeiten — oder — bei Einschluss in Harze — nach vorheriger Uebertragung in absoluten Alkohol und dann in Nelken- oder Bergamottöl in eine passende, das Färbemittel nicht verändernde Zusatzflüssigkeit gebracht, wozu sich von den wässerigen Flüssigkeiten verdünntes Glycerin, unter den Harzen Canadabalsam und Dammarlösung am geeignetsten erweisen dürften, an deren Stelle für solche Fälle, wo Schrumpfungen zu befürchten sind, wenn man mit den genannten Oelen behandelt, das sich mit Alkohol leicht mischende verharzte Terpentin treten muss.

Imprägnation. Zur Imprägnation werden die im zweiten Abschnitte beschriebenen Silber-, Gold- und Palladiumsalze, die Ueberosmiumsäure etc. gebraucht, deren Verwendungsweise wir hier näher betrachten müssen. 263

Die Imprägnation mittelst der Lösung von salpetersaurem Silberoxyd, welche schon am längsten und zwar von Recklingshausen (1862) eingeführt und — da weder die Lösung selbst, noch das Licht tief eindringen — nur für dünne Gewebeschichten anwendbar ist, hat verschiedene Ziele im Auge und bedarf danach die Ausführung eine entsprechende Aenderung. Soweit die Methode bis jetzt ausgebildet ist, werden indessen noch nicht überall ganz sichere, im Voraus zu bestimmende Resultate erreicht, indem die beiderlei erzielten Wirkungen mehr zufällig oder gar zugleich mit einander auftreten.

Gilt es, den Niederschlag des metallischen Silbers im Inneren von Zellen, feinen Canälchen oder von den Ausläufern der Bindegewebskörper-

chen zu erzeugen und so deren Hohlsein zu demonstriren, so bringt man die möglichst frischen, von höchstens einen Tag alten Leichnamen entnommenen Gewebetheile unter Ausschluss des Lichtes in eine schwache Lösung von 1 Theil Salz auf 400 bis 800 Theile Wasser und taucht sie nach einem längeren Verweilen darin in höchst verdünnte Salzsäure oder in eine schwache Kochsalzlösung, oder man setzt dieselben auch in einer concentrirten Kochsalz- oder Salmiaklösung liegend längere Zeit dem Einflusse des Lichtes aus.

Will man dagegen die Zwischenmassen der Epithelien, die sogenannten Kittsubstanzen färben, und sollen die zelligen Elemente von Silberniederschlag frei bleiben, um Zellengrenzen, den Verlauf von Nervenfasern, von feinen Blut- und Lymphgefässen nachzuweisen, so lässt man die betreffenden Präparate nur kürzere Zeit und bis sie eine weisse Färbung erkennen lassen, der Einwirkung einer $^1/_2$- bis 2 proc. Lösung des Färbemittels ausgesetzt, setzt dieselben in mit 2 proc. Essigsäure angesäuertem Wasser, welches man wiederholt langsam von dem Präparate zurücktreten und wieder darüber fliessen lässt, dem Einflusse des Lichtes aus und bringt sie schliesslich in reines Glycerin. Man erhält dann, falls die Operation gut gelungen ist, Präparate, die, wie W. Kühne berichtet, das Aussehen einer umgekehrten Silhouette zeigen und ein Bild gewähren, mit dem an Deutlichkeit kein anderes mikroskopisches Bild wetteifern kann.

In neuerer Zeit hat Legros zur Fixirung des Bildes momentanes Eintauchen in unterschwefligsaures Natron mit rasch folgendem Auswaschen in destillirtes Wasser empfohlen.

Schnitte — für welche sich sonst das Silberimprägnationsverfahren nicht eignet — von in Alkohol gehärteten Objecten sollen nach Thiersch und Frey sehr schöne Bilder liefern, wenn man dieselben zuerst 5 Minuten lang in einer alkoholischen Höllensteinlösung von 1 : 5000, dann für einige Secunden in einer weingeistigen Lösung von Kochsalz schüttelt und endlich dem Lichte aussetzt.

Etwas sicherere und die Grenzen der Gewebeelemente schärfer hervortreten lassende Resultate gewähren nach Alferow $^1/_8$ proc. Lösungen von pikrin-, essig-, citronen- und milchsaurem Silberoxyd, denen man noch 10 bis 12 Tropfen der betreffenden Säure zugesetzt hat.

Die Färbungen mittelst der Ueberosmiumsäure, deren Reduction vorzugsweise durch eiweisshaltige und fettreiche Substanzen bewirkt wird, liefern im Ganzen ähnliche Bilder wie die Silberimprägnation, wobei indessen die Gewebe, da das Reductionsproduct nicht einen körnigen Niederschlag bildet, ihre Durchsichtigkeit behalten und auch sonst nicht sehr merklich angegriffen und verändert werden. Zuerst wurde die Säure von Max Schultze nur auf das Leuchtorgan von Lampyrus spendidula in ausgedehnterer Weise angewendet, spätere Erfahrungen haben aber gelehrt, dass auch noch eine Reihe anderer Elementarorgane und Substanzen sich für eine Behandlung mit diesem Reagens eignen.

Der Erfolg scheint hier davon bedingt zu sein, dass die betreffenden Gewebetheile in möglichst frischem Zustande in die Säurelösung gebracht werden; wenigstens berichtet Max Schultze, dass ihm die Färbung der sternförmigen Tracheen-Endzellen nur dann gelungen sei, wenn er noch leuchtende und lebende Thierchen eingelegt habe.

Die Säure wird in Lösungen von 1 bis 2 Proc. angewendet, worin das Präparat, welches nur einen geringen Umfang besitzen darf, wenn dieselbe vollständig eindringen soll, $^1/_2$ bis 24 Stunden verweilen muss.

Die von Cohnheim eingeführte Imprägnation mittelst Goldchlorid bewirkt man folgendermaassen. Die Schnitte kommen, gegen Licht und Luft geschützt, in eine $^1/_2$- bis 1 proc. oder auch weit schwächere, 0,05- bis 0,005 proc. mit Essig- oder Salzsäure angesäuerte Lösung des Salzes und bleiben darin, bis sie eine strohgelbe Farbe angenommen haben. Hierauf spült man die Präparate mit destillirtem Wasser ab und setzt sie in verdünnter Essigsäure dem Lichte aus.

Nach einer von Bastian empfohlenen Methode bringt man die zu färbenden Objecte vor Lichteinwirkung geschützt auf 1 Stunde in eine 0,05 proc. Goldchloridlösung, welche auf 70 ccm 1 Tropfen Salzsäure zugesetzt erhielt, dann in angesäuertes Wasser (1 Tropfen Salzsäure auf 140 ccm Wasser) und hierauf in eine Mischung von gleichen Theilen Ameisensäure und Alkohol, welche die Färbung binnen $^1/_2$ Stunde hervorruft. Zum Gelingen der Goldfärbung bei frischen Schnitten ist es meist vortheilhaft, dieselben vor dem Einbringen in die Goldlösung in Ameisensäure zu legen. Als sehr schnell wirkende Reductionsmittel werden Lösungen von schwefelsaurem Eisenoxyd (Nathusius) und von gesättigter, sammt den Präparaten in zugestöpselten, in heisses Wasser gesenkten Gefässen befindlicher Weinsteinsäure (Hennoque) empfohlen.

Nach Flechsig werden Schnitte von gehärteten Objecten (die Härtung geschieht hier in 1 proc. Lösung von doppeltchromsaurem Kali) nach Abspülen in destillirtem Wasser 15 bis 30 Minuten lang in eine 0,05 proc. Goldchloridlösung gebracht, dann mit destillirtem Wasser abgespült und endlich mehrere Stunden lang der Einwirkung einer 10 proc. Aetznatronlösung ausgesetzt, während nach Ranvier sehr schöne Goldfärbungen erzielt werden, wenn man zu färbende kleine Gewebestücke einige Minuten lang in frisch ausgepressten, filtrirten Citronensaft einlegt und dann 2 bis 3 Tage lang der Einwirkung einer 1- bis 0,5 proc. Goldchloridlösung überlässt.

Ueberfärbung mittelst Goldchlorid wird durch Aufhellung mittelst Cyankaliums beseitigt, während eine zu geringe Sichtbarkeit durch 15 bis 30 Minuten langes Verweilen in dem mit 1 bis 2 Tropfen Pyrogallussäure versetzten Waschwasser erhöht werden kann.

Goldchloridkalium wird dem einfachen Salze zur Imprägnation von in $^1/_2$ proc. Lösung doppeltchromsauren Ammoniaks erhärteten Nervenpräparaten (Rückenmark Gerlach, sympathisches Nervensystem Arnold) vorgezogen. Die Schnitte werden etwa 24 Stunden lang einer

0,01 proc. Lösung des Doppelsalzes ausgesetzt, mit angesäuertem Wasser ausgewaschen, dann in ein Gemisch aus 1000 Theilen 60 proc. Alkohol und 1 Theil Salzsäure getaucht und endlich in absoluten Alkohol gelegt.

Zur Imprägnirung mit Chlorpalladium verwendet man die oben beschriebenen Lösungen in 1 proc. und stärkerer Verdünnung und wenig angesäuert und lässt die Präparate 2 bis 3 Tage darin verweilen, wonach neben Färbung auch Härtung bis zu schnittfähiger Consistenz eingetreten ist.

Der feine Niederschlag von Berlinerblau, welcher tief eindringt, ist von Leber zur Färbung der Hornhautsubstanz empfohlen worden, dürfte aber auch Versuche über ausgedehntere Verwendbarkeit lohnen. Zur Färbung legt man die Hornhaut etwa 5 Minuten lang in eine 0,5- bis 1 proc. Lösung von schwefelsaurem Eisenoxydul, spült mit destillirtem Wasser ab, legt in eine 1 proc. Lösung von Ferridcyankalium (gelbes Blutlaugensalz) so lange ein, bis gleichmässig intensiv blaue Färbung erfolgt (was meist nur sehr kurze Zeit dauert) und wäscht mit destillirtem Wasser aus.

264 Doppelfärbung. Die Doppelfärbung kann entweder mittelst Farbstoffmischungen oder durch aufeinander folgende Behandlung mit verschieden färbenden Flüssigkeiten hervorgebracht werden.

Von den Mischungen wendet man vorzugsweise das Ranvier'sche Pikrocarmin, eine Mischung aus Indigcarmin und Carmin, aus Indigcarmin und Pikrinsäure, aus Eosin und Hämatoxylin, sowie das Hanstein'sche Anilinviolett an. In Bezug auf das erstere ist zu beachten, dass Auswaschen in destillirtem Wasser die Doppelfärbung verschwinden macht, indem es die Pikrinsäure auszieht und dass man deshalb mit Glycerin auswaschen muss, ferner dass zu dunkel gefärbte Objecte durch Einlegen in schwache Aetzkalilösung verbessert werden können.

In der Mischung von Boraxcarmin und Boraxindigcarmin verweilen die vorher gehärteten, ausgewaschenen und in Alkohol gelegten Präparate 15 bis 20 Minuten lang, werden aus ihr in eine wässerige Lösung von Oxalsäure gebracht und schliesslich in destillirtem Wasser ausgewaschen.

Die in der bisher nur auf Pflanzenschnitte angewendeten Hanstein'schen Mischung gefärbten Präparate werden gleich behandelt, wie die in einfachen Anilinfarben gefärbten.

Bei der neuerdings von Gilbert zur Doppelfärbung von Pflanzenschnitten empfohlenen Mischung bleiben die Schnitte nur kurze Zeit, ein bis zwei Minuten in der Flüssigkeit, welche ähnlich wirkt wie die vorige.

Die Doppelfärbung mittelst sich folgender Anwendung von Carmin und Pikrinsäure kann in zweifacher Weise ausgeführt werden, je nachdem man in Alkohol oder in wässerigen Flüssigkeiten gehärtete und frische Präparate färben will. Im ersten Falle färbt man zunächst gut

mit Carmin und bringt dann nach dem Auswaschen in eine alkoholische Lösung von Pikrinsäure, im anderen behandelt man die Schnitte zuerst mit einer schwachen wässerigen Lösung carminsauren Ammoniaks, wäscht sie nach gehöriger Durchfärbung mit destillirtem Wasser aus und lässt dann etwa zwei Stunden lang eine gleichfalls schwache Pikrinsäurelösung (400 g destillirtes Wasser und 6 cg Pikrinsäure) auf dieselben wirken. Sollen die Präparate in Harz eingeschlossen werden, so bringt man sie entweder aus der wässerigen in eine alkoholische Lösung der Pikrinsäure oder legt sie in ein Gemisch von 4 Theilen Kreosot und 1 Theil verharztem Terpentinöl.

Zur Doppelfärbung junger Knochen eignet sich namentlich Hämatoxylin und Carmin, sowie Hämatoxylin und Pikrinsäure, wobei bei Anwendung der letzteren Flüssigkeiten eine Härtung in Müller'scher Flüssigkeit vorausgehen soll. Man färbt zuerst in den Hämatoxylin und bringt die Schnitte dann nach dem Auswaschen entweder in eine möglichst ammoniakfreie Carminlösung oder in eine gesättigte alkoholische Pikrinsäurelösung. Im ersteren Falle färbt sich die Knorpelsubstanz blau, die Knochensubstanz roth, im anderen die letztere und das Protoplasma der Marktzellen roth, die erstere und die Zellkerne blau.

In molybdänsaurem Ammoniak gefärbte Schnitte mit einer ammoniakalischen Carminlösung nachgefärbt, zeigen die Zellkerne roth auf graublauem Grunde.

Methylgrün und Carminlösung geben schöne Doppelfärbungen des Centralnervensystems, in dem sich die Achsencylinder und Ganglien roth, das Nervenmark grünlich und die Bindegewebsbestandtheile violett färben. Man legt zur Erlangung dieses Resultates die Präparate 12 bis 24 Stunden in Methylgrün, wäscht sie längere Zeit — bis zwei Stunden — in destillirtem Wasser aus und überträgt dieselben dann in eine schwache möglichst ammoniakfreie Carminlösung.

Eosin und Methylviolett, Dahlia oder Methylgrün liefern schöne Doppelfärbungen, bei denen das erstere vorzugsweise die Zellenkörper und zwar rosa bis rothviolett, die letzteren die Zellkerne färben. Man bewirkt hier zuerst die Eosinfärbung und bringt dann die Präparate in die betreffende andere Lösung, wäscht mit destillirtem Wasser aus und legt so lange in Alkohol, bis die Färbung deutlich hervortritt, worauf sorgfältig geachtet werden muss, um rechtzeitig herauszunehmen. Bei der nachfolgenden Behandlung von in Canadabalsam oder dergleichen einzuschliessende Präparate muss man das aufhellende Nelkenöl sorgsam durch Abwischen mittelst Fliesspapieres entfernen, damit die Farben nicht durch Reste davon gelöst werden. Eosinfärbung mit nachfolgender Hämatoxylinfärbung wird für die Untersuchung der Gefässentwickelung wichtig, indem sich diejenigen Elemente, aus welchen die Gefässwände und weissen Blutkörperchen hervorgehen, blau, diejenigen, aus welchen die rothen Blutkörperchen entstehen, orange-

gelb färben. Die Schnitte werden hier zuerst der Eosinlösung bis zu deutlicher Rosafärbung ausgesetzt und dann in die Hämatoxylinlösung übertragen.

Cyanin (Quinolein, Chinolinblau) und Carmin dienen bei Untersuchungen über das Centralnervensystem zur Doppelfärbung, bei welcher sich die Achsencylinder lebhaft roth, die Markscheiden blau färben. Das Verfahren besteht darin, dass man die — später in Glycerin aufzubewahrenden — Schnitte zunächst einen Tag lang in Frey'schen Glycerincarmin bringt, mit destillirtem Wasser auswäscht, dann für etwa 15 Minuten in eine dunkelblaue Cyaninlösung einlegt und wiederholt abspült.

Schöne Differenzirung verholzter und nicht verholzter Gewebe und Gewebetheile von Pflanzenschnitten habe ich mittelst Malachitgrün und Hämatoxylin erzielt. Man färbt zuerst mit Hämatoxylin, wäscht mit Wasser aus und bringt dann den Schnitt auf kurze Zeit in sehr verdünnte wässerige Lösung von Malachitgrün. Aufbewahren kann man in Canadabalsam oder in dem später zu beschreibenden Hoyer'schen Einschlussmittel.

Die dreifache Färbung mittelst Hämatoxylin und Pikrocarmin wird nach Professor Gerlach erzielt, wenn die betreffenden Präparate (Gerlach behandelte Querschnitte getrockneter Gefässwände) einen Tag lang in eine mit wenig Alaun versetzte Blauholz-Hämatoxylinlösung, dann wenige Minuten in reine Essigsäure und schliesslich kurze Zeit in eine verdünnte Pikrocarminlösung gelegt werden. Nach dem Auswaschen tritt eine dreifache Färbung auf, indem Muskeln, elastische Gewebe und Bindegewebe verschieden gefärbt erscheinen. Derartig gefärbte Präparate können sowohl in Glycerin als in Canadabalsam aufbewahrt werden.

Auch Pikrocarmin und Methylgrün gewähren bei manchen Geweben schöne dreifache und sogar mehrfache Färbungen (B. W. Richardson), welche verschiedene Abstufungen in Roth und Grün zeigen und besonders schön hervortreten sollen, wenn statt des Methylgrüns allein eine Mischung des letzteren mit Malachitgrün verwendet wird. Man färbt zuerst in Pikrocarmin, dann in dem Grün so lange, bis die Schnitte ziemlich tief blau erscheinen. Abspülen in Weingeist entfernt die Ueberfärbung mit Grün.

Für Pflanzenschnitte empfiehlt der genannte Forscher Atlas-Scharlach, lösliches Anilinblau und Methyl- oder Malachitgrün. Etwa vierzehn Tage in Alkohol aufbewahrte Schnitte werden so lange in eine in bedeckten Gefässen befindliche reichlich dunkle Lösung von Atlas-Scharlach gebracht, bis sie eine gleichmässige Scharlachfarbe angenommen haben, dann so lange in destillirtem Wasser ausgewaschen, bis dieses keinen Farbstoff mehr aufnimmt und hierauf in mit dem gewünschten Grün bläulichgrün gefärbten Weingeist (einige Tropfen gesättigter wässeriger Lösung der beiden Farbstoffe genügen hierzu) gebracht. Erscheinen die Schnitte dunkelblau gefärbt, so über-

trägt man sie in eine schwache Lösung von Oxalsäure (1:400 bis 1:500) oder Essigsäure und wäscht schliesslich mit Alkohol aus, in welchem eine Spur der genannten Säuren enthalten ist. Ein anderes Verfahren besteht darin, dass man zwischen die erste und letzte Färbung diejenige mit Blau einschiebt und nach derselben mit durch Essigsäure angesäuertem Wasser auswäscht.

Doppelfärbung kann auch mittelst Imprägnation und darauf folgender Färbung oder mittelst zweifacher Imprägnation erzielt werden.

Die mit Höllenstein, Goldchlorid oder Chlorpalladium imprägnirten Schnitte können nach vorherigem Auswaschen in destillirtem Wasser mit Hämatoxylin oder Carmin gefärbt werden, wobei dann die von der Imprägnation frei gebliebenen Elemente, Zellkerne etc. in der entsprechenden Färbung neben den imprägnirten scharf hervortreten.

Die mit Berlinerblau imprägnirte Hornhaut, nachträglich mit Eosin oder Carmin gefärbt, liefert ebenfalls schöne Bilder, indem die Saftcanälchen rosa oder roth auf blauem Grunde erscheinen. Hornhautpräparate liefern bei Doppelimprägnation namentlich auch dann schöne Bilder, wenn man dieselben zunächst in ein Gemisch von 95 ccm destillirtem Wasser und 5 ccm gewöhnlicher Essigsäure, dann fünf Minuten lang in eine $^1/_2$ proc. Höllensteinlösung bringt, dann, nachdem in dem oben genannten Gemisch gewaschen, auf zehn Minuten eine $^1/_5$ proc. Goldchloridlösung einwirken lässt, darauf acht Minuten lang in jener Essigsäure und endlich in destillirtem Wasser auswäscht.

In Verbindung mit gesättigter weingeistiger Oxalsäurelösung bringt die Ueberosmiumsäure „nach Brösicke“ in verschiedenen Geweben und Inhaltssubstanzen verschiedene Färbungen hervor (Hornhautsubstanz, Glaskörper, Wurzel der Harngefässe carminroth, Muskeln, Sehnen, Eiweisssubstanzen dunkel carminroth, Zellkerne und Nervenmark dunkel burgunderroth, elastische Fasern gelb, Hornsubstanzen hellbraun, Fettkörper schwarz). Zur Erzielung solcher Bilder bringt man Schnitte von den frischen oder frisch getrockneten Objecten eine Stunde lang in die Lösung der Ueberosmiumsäure, dann nach sorgfältigem Auswaschen auf 24 Stunden in eine kalt gesättigte Oxalsäurelösung und beobachte unter Wasser oder Glycerin.

Injection. Das Injectionsverfahren, welches namentlich für die thierische Histologie von grosser Bedeutung erscheint, ist wie jedes andere feinere Präparationsverfahren eine Kunst, die eben eine durch Uebung zu erlangende Fertigkeit verlangt und mit Ernst erlernt sein will. 265

Die nöthigen Apparate und Injectionsmassen haben wir bereits in dem vorhergehenden Abschnitte kennen gelernt. Was weiter zu der Ausführung von Injectionen an Hülfsmitteln erforderlich ist, reducirt sich auf einige feine Scheerchen, Pincetten, mehrere Sorten gut gewichsten Seidenfadens zum Unterbinden der injicirten Gefässe, sowie auf die Vorrichtungen zum Erwärmen der Injectionsmassen und der zu injicirenden Theile.

Zunächst ist, vor dem Vollzuge der Injection, die Beschaffenheit der Objecte ins Auge zu fassen, welche man verwendet, d. h. die Frage zu erledigen, ob man die Gewebe in mehr frischem oder etwas älterem Zustande injiciren soll. Hier scheinen die Meinungen verschiedener Histologen nicht ganz übereinzustimmen. Einige wollen, wenn es sich nicht gerade um musculöse Theile handelt, bei denen die Todesstarre häufig die Ausführung der Injection verhindert, die Injectionsobjecte in möglichst frischem Zustande und von eben getödteten Thieren entnommen haben. Andere wollen, dass man den Zeitpunkt abwarte, wo die Todesstarre der hierauf eintretenden Erschlaffung Platz gemacht habe, was im Sommer nach kürzerer, im Winter erst nach längerer Zeit geschieht. Einzelne Objecte machen ausserdem noch besondere Vorbereitungen nothwendig, so z. B. sehr weiche Theile, solche Organe, bei denen man eine Injection der Lymphgefässe beabsichtigt etc. Wir können hier natürlich nicht alle diese Besonderheiten berücksichtigen, sondern müssen uns mehr an das Allgemeine halten und jene der speciellen Anleitung zur Untersuchung thierischer Gewebe überlassen.

Handelt es sich bloss um die Injection eines bestimmten Systemes, so hat man vor dem Beginn der Arbeit Sorge dafür zu tragen, dass nicht etwa der Uebertritt in ein anderes System erfolgen kann, welches mit dem ersteren in Verbindung steht. Wo solche Verbindungen vorhanden sind, da muss zuerst eine vorsichtige Unterbindung der betreffenden Stellen vorgenommen werden.

Bei der Injection der Blutbahnen kann man diese, wo es sich vornehmlich um die Erfüllung des Capillarsystemes handelt, ebensowohl von den Arterien, als von den Venen aus vornehmen. Am besten lässt sich dieselbe indessen durch die Arterien bewerkstelligen, weil diese dickere Wandungen besitzen und die zartwandigen Venen ausserdem noch durch ihren Klappenapparat der Operation ein Hinderniss in den Weg legen.

Hat man sich für den Weg, welchen die Injectionsmasse nehmen soll, entschieden und das betreffende Gefäss aufgesucht, so öffnet man dieses, um das Eindringen von Luft zu verhüten, unter Wasser mittelst eines kleinen Längsschnittes, welcher nicht grösser sein darf, als nöthig ist, um die bequeme Einführung der mit Wasser gefüllten Canüle zu gestatten. Sollten bei älterem Material die zu injicirenden Gefässe mit geronnenem Blute erfüllt sein, so ist es oft von Vortheil, wenn man vor der Injection einen Strom warmen Wassers eintreibt. Man muss hierbei aber immer mit Vorsicht verfahren und nicht zu voreilig sein, weil durch dieses Verfahren häufig der Uebelstand eintritt, dass bei dem später folgenden Eintreiben der Injectionsmasse ein Austreten derselben in die umgebenden Gewebetheile stattfindet, wodurch man genöthigt wird, die ganze Arbeit zu unterbrechen.

Ist die Einführung der Canüle in ein Gefäss gelungen, so wird dieselbe mittelst eines gewichsten Seidenfadens in dasselbe eingebunden. Man fasst zu dem Ende den Faden entweder mittelst einer Pincette oder

fädelt denselben in eine Nadel ein und führt ihn unter dem Gefäss hindurch und um dasselbe herum. Bei grösseren Gefässen muss dieses Einbinden möglichst fest geschehen; bei zarteren Gefässen dagegen hat man sehr schonend zu verfahren, um dieselben nicht zu verletzen.

Die Injection selbst kann nun, nachdem die beschriebenen Vorarbeiten vollendet sind, in verschiedener Weise vorgenommen werden. Das am weitesten verbreitete und älteste Verfahren ist die Injection mittelst der Spritze, welchem in neuerer Zeit diejenige mittelst constanten Druckes, sowie die Selbstinjection an die Seite gestellt und für gewisse Fälle und unter gewissen Umständen vorgezogen worden sind.

266 Injection mittelst der Spritze. Ist die Operation des Einbindens der Canüle beendet, so füllt man die Spritze, deren Stempel vorher, um das Eindringen von Luft zu verhindern, ganz herabgedrückt wurde, in der bekannten Weise unter dem Spiegel der flüssigen Injectionsmasse vollständig an und führt deren Mundstück bis zur vollen Tiefe in die Canüle ein, an der man vorher sorgfältig alles Wasser, welches etwa von dem Reinigen her noch darin haftet, durch ein Schwämmchen aufgesaugt hat. Diese hält man dabei mit der linken Hand fest und erhebt sie etwas, während die Spritze selbst bei aufliegendem Vorderarm zwischen die Mittelglieder des Zeige- und Mittelfingers eingeklemmt und der Daumen in den Ring des Stempels gelegt wird.

Indem nun die Spritze sorgfältig in die Richtung des Blutstromes gebracht wird, in welcher das Fortrücken der Injectionsmasse am leichtesten erfolgt, beginnt man das Eintreiben der letzteren unter möglichst langsamem und stetigem Druck. Sobald die Flüssigkeit weiter und weiter vordringt, fühlt der Finger einen verhältnissmässig zunehmenden Widerstand, dem er sich beim Einschieben des Stempels anbequemen muss. Vor allen Dingen vermeide man jetzt einen zu heftigen und namentlich einen unregelmässigen stossweissen Druck, welcher unfehlbar ein Misslingen des Präparates herbeiführen würde. Sollte sich etwa ein stärkerer Widerstand bemerklich machen, so könnte dieser von einer Verstopfung der Canüle herrühren, und es muss diese zu beseitigen gesucht werden, indem man die Spritze vorsichtig wegnimmt und in die erstere einen feinen Metalldraht oder eine Schweinsborste einführt.

Den Zeitpunkt der Vollendung zu bestimmen ist nicht leicht und lassen sich bestimmte Regeln dafür ganz und gar nicht geben. Hier gehört eben eine gewisse Erfahrung und Uebung dazu, um den richtigen Moment mit einiger Zuverlässigkeit zu treffen, und selbst der Geübteste kann unter Umständen einen Missgriff thun. Bricht man die Operation zu früh ab, so zeigen sich die feinen Gefässe noch nicht vollständig erfüllt, setzt man sie dagegen zu lange fort, so werden dieselben zerrissen und es findet ein Austritt der Injectionsmasse statt. Am sichersten leitet bei der Beurtheilung noch die sichtbare Wirkung der Injection, d. h. die Färbung; weniger darf man sich auf die Verstärkung des Widerstandes

gegen das Eindringen verlassen. Wo sich bei den warmen Injectionsmassen kleine Austrittsstellen (Extravasate) zeigen, da geben solche einen Wink zum Abbrechen, während dieser Zeitpunkt bei den kaltflüssigen Injectionsgemischen in der Regel dann eintritt, wenn die farblose Flüssigkeit an der Oberfläche des injicirten Organes in Form einer fettigen Benetzung hervortritt.

Ist die Operation schliesslich gut zu Ende geführt, so wird die Oeffnung der Canüle mittelst eines Stöpsels aus Kork fest verschlossen, unterhalb derselben das injicirte Gefäss unterbunden und nun erst das Röhrchen losgebunden und herausgenommen.

Sollen feinere Gefässe kleiner und zarter Thiere, die feineren Lymphgefässe im Inneren der Organe etc. injicirt werden, so gelangt man auf die eben beschriebene Weise nicht zum Ziele. Man greift dann zu dem sogenannten Einstichverfahren. Am zweckmässigsten ist es, wenn zu diesem Behufe der Spritze eine oder mehrere Canüle beiliegen, welche in Form des Troicarts construirt sind. Man kann sich indessen auch selbst eine derartige Vorrichtung herstellen, indem man in das Innere der Canüle eine Nadel einführt. Der Einstich in den zu injicirenden Gewebetheil wird mittelst dieser Vorrichtung an einer passenden Stelle vorgenommen und die Canüle so weit nachgeschoben, bis die gewünschte Stelle im Inneren erreicht ist. Nach dem Herausziehen der Nadel wird die Injection in bekannter Weise ausgeführt.

Bei der Injection der beiden Blutgefässsysteme geht man am besten von der Erfüllung der Venen aus und schreitet dann zur Erfüllung der Arterien und ihren Verzweigungen. Dass hier eine Scheidung der beiden Systeme durch Abbinden vorzunehmen und ein Uebertritt der Injectionsmasse für das eine System in die Bahnen des anderen zu vermeiden ist, versteht sich von selbst. Als Injectionsflüssigkeit empfehlen sich hier vorzugsweise die in der Wärme flüssigen, beim Erkalten erstarrenden Leimlösungen, wobei man zwischen der ersten und folgenden Einspritzung einige Zeit verstreichen lässt, damit die zuerst angewendete Masse einige Starrheit gewinne. Die Farben endlich wähle man derart, dass sie beim Zusammentreffen eine schöne Mischfarbe bilden, so z. B. Berlinerblau und Weiss oder Berlinerblau und Carmin bei Präparaten für durchgehendes, Zinnober und chromsaures Bleioxyd bei solchen für auffallendes Licht.

Sollen ausser der Blutbahn noch die Lymphgefässe oder die Canälchen von Drüsenorganen injicirt werden, so geht man in der Regel mit der Erfüllung der ersteren voraus und lässt diejenige der letzteren nachfolgen. Wo für die zweite Erfüllung die Einstichmethode zur Anwendung kommen muss, da vermeide man hierbei sorgfältig die Verletzung der bereits erfüllten Blutgefässe.

267 Injection mittelst constanten Druckes. Die Injection mittelst constanten Druckes bietet den Vortheil, dass sie erstlich die verschiede-

nen Druckgrössen durch Erfahrung feststellen lässt, welche für die einzelnen Bezirke der Blut- und Lymphbahnen etc. erforderlich werden, zweitens es gestattet, je nach Erforderniss, sehr niedrigen oder sehr hohen Druck anzuwenden und die Füllung stetig und ganz langsam vor sich gehen zu lassen.

Kommt der einfache Apparat (Fig. 217, Seite 308) zur Verwendung, so wird die graduirte Röhre mit der betreffenden Injectionsmasse bis zu einer bestimmten Höhe gefüllt, die Oeffnung der Metallröhre *d* vorsichtig und fest in die Canüle eingeführt und dann der Hahn bei *d* geöffnet. Die Druckstärke kann mittelst Nachgiessens von Flüssigkeit auf gleicher Höhe erhalten oder durch eine entsprechend höhere Flüssigkeitssäule nach Bedürfniss gesteigert werden.

Für die hier in Frage kommenden Injectionen können ohne Weiteres selbstverständlich nur kaltflüssige Injectionsmassen in Anwendung kommen. Sollen an Leim gebundene Massen verwendet werden, so muss die erforderliche Erwärmung herbeigeführt und durch einen geeigneten Apparat, z. B. den Harting'schen Injectionskasten, unterhalten werden.

268 Selbstinjection. Diese dritte Injectionsmethode, auch unter dem Namen „physiologische Injection“ bekannt, ist in neuerer Zeit durch Chrzonszczewsky in der Thierhistologie eingeführt worden. Dieselbe beruht darauf, dass, wenn man dem lebendigen Thierkörper durch Oeffnen einer Vene eine bestimmte Menge Blutes entzieht und dieselbe durch unschädliche stark gefärbte Flüssigkeiten — man verwendet lauwarme filtrirte Lösungen von 7,5 g Carmin, 3,5 g starkem Ammoniakwasser und 30 g destillirtem Wasser oder von indigschwefelsaurem Natron (gesättigt) — ersetzt, diese durch die Herzthätigkeit in die Blutbahnen geführt und letztere in schonendster Weise damit erfüllt werden. Man kann auf diese Weise indessen nicht nur das Gefässsystem, sondern auch Magen, Mastdarm, Bauchhöle, Harncanälchen und Anfänge der Gallenwege in der Leber etc. injiciren. Die Einzelverfahren zur Erzielung bestimmter Zwecke können wir hier nicht näher verfolgen, sondern verweisen auf die betreffende Sonderliteratur.

Zur Beobachtung bedürfen die nach irgend einer Methode injicirten Körpertheile in der Regel eine ähnliche vorbereitende Behandlung, wie sie für Darstellung anderer Präparate erforderlich ist. Wo man warme Injectionsmassen angewendet hat, brauchen dieselben vor allen Dingen die nöthige Zeit zum Erstarren, ehe man zur Anfertigung von Schnitten schreiten kann. Leim- oder Gelatineinjectionen müssen wenigstens mehrere Stunden, Harzinjectionen noch längere Zeit liegen, während die kalten Injectionsgemische eine sofortige Präparation gestatten. Ist eine Erhärtung angezeigt, so bringt man entweder den injicirten Körpertheil im Ganzen, oder wenn derselbe ein zu bedeutendes Volumen besitzt, in passende Stücke zerlegt in Weingeist und verfährt dabei ganz nach den im Früheren gegebenen Vorschriften.

IV. Umhüllung und Eindeckung der Objecte.

269 Der in entsprechender Weise zur Beobachtung hergerichtete Gegenstand wird nur in vereinzelten Fällen trocken betrachtet. In der Regel wird derselbe, um die erforderliche Durchsichtigkeit zu erlangen und für die Beugungswirkung seiner feineren Structurelemente die günstigsten Bedingungen zu gewähren und ein klares, in seinen Einzelheiten scharf gezeichnetes Bild zu liefern, von einer entsprechenden Flüssigkeit umhüllt werden müssen.

Im ersten Falle legt man ihn einfach auf den Objectträger und trägt Sorge dafür, dass er vollkommen in einer Ebene ausgebreitet erscheint. Bei manchen, namentlich zarteren Gegenständen, gelingt die Ausbreitung leicht mittelst der Präparirnadel, des Präparirschäufelchens oder des Pinsels und hat man nur darauf zu achten, dass das Präparat bei dieser Operation keinen grösseren Druck erleidet, als gerade erforderlich ist, um es auszubreiten, ohne dass es etwa zerrissen wird. Schwieriger lassen sich solche Objecte ebenen, welche die Neigung besitzen, sich zu rollen. Hier muss mittelst einer flachen Nadel oder eines anderen flachen Gegenstandes oft schon ein etwas stärkerer Druck ausgeübt und hierauf das Präparat mit einem passenden Deckglase bedeckt werden, um es in seiner Lage zu erhalten. Nach einem vorsichtig ausgeübten Drucke auf das letztere wird ersteres in der Regel in der gewünschten Lage verharren. Sollte diese Manipulation jedoch noch nicht ausreichen, so kann man sich, falls man einen solchen besitzt, des Quetschers bedienen, um das Präparat in der Ebene ausgebreitet zu erhalten. Im anderen Falle bringt man eine halbweiche, klebende Masse zwischen Deckglas und Objectträger, wodurch ersteres und damit das Object festgehalten wird. Immer aber ist die Beschaffenheit des Gegenstandes genau ins Auge zu fassen und sorgfältig darauf zu achten, dass der Druck nicht so stark wirkt, dass eine Störung der Structurverhältnisse oder des Inhaltes der Zellen und Gewebe hervorgerufen wird.

Welche Zusatzflüssigkeit im anderen Falle anzuwenden sei, hängt theils von der chemisch-physikalischen Beschaffenheit, theils von der feinen inneren Gliederung und den Maassverhältnissen der Structurelemente des betreffenden Gegenstandes ab.

Zur Untersuchung von festeren Pflanzen- und Thiergeweben, bei denen destillirtes Wasser keine augenfällige störende Eingriffe veranlasst, wird in der Regel dieses als Umhüllungsmittel benutzt. Für die Einhüllung zarter vegetabilischer und thierischer Präparate dagegen hat man sich mehr indifferenter Flüssigkeiten zu bedienen, welche keinerlei Störungen in dem Inhalte und der Form der Elementarorgane hervorbringen und welche, soweit sie hier in Betracht kommen, schon weiter oben erörtert worden, oder bei den besonderen Untersuchungsmethoden anzugeben sind.

Solche Gegenstände, welche man möglichst durchsichtig zu machen wünscht, muss man mit Flüssigkeiten umgeben, welche denselben an Lichtbrechungsvermögen nahezu gleichkommen, während da, wo die Sichtbarkeit von Structurunterschieden erhöht werden soll, Umhüllungsflüssigkeiten angezeigt erscheinen, welche einen von demjenigen der betreffenden Substanz möglichst weit verschiedenen Brechungsindex besitzen. Glycerin, Eiweiss, Zuckerlösung, sowie die Lösungen mancher Salze, eignen sich, soweit sie gemäss der obigen Rücksichten zulässig erscheinen, vorzugsweise für Objecte im frischen Zustande, während für trockene oder vorher mittelst Alkohols entwässerte und wo erforderlich mit Nelkenöl etc. behandelte Gegenstände je nach den Umständen fette und flüchtige Oele, Terpentin, Canadabalsam, Dammarlösung, Schwefelkohlenstoff, Monobromnaphtalin, Phenyl-Senföl und dergleichen in Anwendung zu bringen sind.

In Bezug auf die Zusatzflüssigkeiten, welche durch die feineren, regelmässig gruppirten Structurelemente der Beobachtungsobjecte und deren Maassverhältnisse bedingt werden, geben die theoretischen Erörterungen des ersten Abschnittes die nöthigen Winke an die Hand. So lange es sich um derartige Structuren handelt, deren Maassverhältnisse mehrere Vielfache, z. B. das Fünf- bis Sechsfache der Wellenlänge erreichen, die also gemäss der Theorie Beugungsspectren erzeugen, deren lichtstärkere Theile nach innerhalb der Austrittspupille von Objectivsystemen mit geringer oder mittlerer numerischer Apertur fallen, so lange ist nach dieser Richtung hin das Einschlussmittel gleichgiltig. Kommen aber solche Structuren in Betracht, deren Maassverhältnisse nur kleine Vielfache der Wellenlänge oder gar Bruchtheile derselben betragen, die also in Luft und schwach brechenden Medien so weit abgelenkte Beugungsbüschel geben, dass selbst bei Objectivsystemen von einer über die Einheit hinaus und bis zu 1,4 gehender numerischer Apertur nur noch der mittlere Theil des Spectrums in der Austrittspupille Raum hat und z. B. bei periodischen Structuren die dem directen Bilde der Lichtquelle zunächst liegenden Maxima zweiter Ordnung nahe an den Rand des Oeffnungsbildes heranrücken und bei denen es darauf ankommt, diesen mittleren Theil noch in möglichst weitem Umfange oder die sonst aussen bleibenden Spectren noch an ihrem dem Hauptmaximum zunächst liegenden Ende zu umfassen, dann sind Einhüllungsmittel angezeigt, welche mindestens einen der numerischen Apertur gleichen oder wegen der oben erwähnten Erhöhung der Sichtbarkeit einen über diese hinausgehenden Brechungsindex besitzen.

Hat man sich gemäss der hierfür maassgebenden Umstände für die entsprechende Zusatzflüssigkeit entschieden, so bringt man einen Tropfen davon auf den Objectträger und legt das Präparat sorgfältig hinein, indem man dasselbe, wo es nöthig ist, mittelst der Nadel etc. möglichst eben auszubreiten sucht. Beim Gebrauche schwacher Objective, welche einen

so grossen Abstand haben, dass sie nicht von der verdunstenden Flüssigkeit beschlagen, oder bei denen man nicht zu befürchten braucht, dass sie durch Berührung der letzteren beschmutzt werden könnten, mag man den Gegenstand, falls man nicht ein Mittel anwendet, dessen Dämpfe das Glas der Linsen angreifen, zur ersten Orientirung unbedeckt unter das Mikroskop bringen. Bei stärkeren Objectiven dagegen, oder wenn man ätzende Zusatzflüssigkeiten verwendet, erfordert das Präparat stets eine, auch bei schwächeren Systemen zu empfehlende, Bedeckung mittelst eines gut gereinigten Deckgläschens. Das letztere legt man möglichst vorsichtig auf, um das Präparat nicht aus der Mitte des Tropfens nach dem Rande hin zu drängen. Etwa unter den Rändern des Deckglases hervortretende überschüssige Flüssigkeiten nimmt man am besten mittelst reinen, weichen Fliesspapieres oder mittelst des Pinsels hinweg, um deren Ueberfliessen auf die obere Fläche zu verhindern. Bei der Wahl des Deckglases muss man sich in Bezug auf dessen Dicke theils nach der Beschaffenheit des zu beobachtenden Gegenstandes, theils nach dem Arbeitsabstande der zu gebrauchenden Objectivsysteme und, falls keine Verbesserungseinrichtung vorhanden ist, oder nicht homogene Immersion zur Anwendung kommt, nach dem Einflusse richten, welchen die Dicke des ersteren auf die Deutlichkeit und Schärfe des Bildes ausübt und dasselbe — wo diese nicht etwa, wie bei Zeiss angegeben ist — der für das betreffende Objectiv durch Versuch an der Abbe'schen Silberplatte oder einem genau bekannten Object ermittelten, am besten wirkenden Dicke anpassen.

Bei zarten Objecten, welche selbst unter einem geringen Drucke leiden könnten, wird man ein dickes Deckglas sorgfältig umgehen müssen. Ebenso ist ein solches stets zu vermeiden, wenn man mit Objectivsystemen von geringem Abstande arbeitet. Denn, vorausgesetzt auch, dass dessen Stärke keinen nachtheiligen Einfluss auf das Bild übte, könnte man bei der Einstellung dasselbe leicht berühren, allenfalls zertrümmern, und dadurch möglicherweise der vorderen Linse schaden, jedenfalls aber das Präparat durch den ausgeübten Druck verderben. Da bei den meisten Instrumenten der schwächeren Objectivsysteme gegen die Deckglasdicke nicht so empfindlich sind, dass ein zu dünnes Deckglas dem Bilde wesentlich schadet, so wird man am besten thun, für solche Präparate, bei denen voraussichtlich eine Steigerung der Objectivvergrösserung nothwendig wird, gleich ein passendes, dünnes Deckglas zu benutzen, um nicht zum Wechseln mit denselben veranlasst zu werden. Wo für die starken Objectivsysteme eines Instrumentes eine bestimmte Deckglasdicke vorgeschrieben ist, da halte man unbedingt an derselben fest, und habe, um für diesen Fall bei der Beobachtung nicht jedesmal durch das Messen der Dicke Zeit zu verlieren, immer sorgfältig sortirte Gläschen bereit.

Sind äusserst zarte Präparate zu handhaben, die selbst vor sehr schwachem Druck bewahrt werden müssen, so bringt man einen nach

dem freien Objectabstande der zu gebrauchenden Objectivsysteme bemessenen dünnen Gegenstand, ein Haar, ein Papierstückchen oder dergleichen zwischen Objectträger und Deckglas.

Drittes Capitel.

Methode der mikroskopischen Beobachtung.

I. Ausscheidung des dem mikroskopischen Bilde Fremden. Vermeidung von Täuschungen.

Optische Erscheinungen. Unter den Erscheinungen, welche **270** optische Täuschungen veranlassen können, nehmen für alle solche Structuren, welche gemäss ihrer linearen Ausmaasse in ihrem Inneren oder an ihren Grenzflächen Brechung und Zurückwerfung der Lichtstrahlen hervorrufen können, jene die erste Stelle ein, welche bei den Mikroskopikern unter dem Namen „Beugungserscheinungen“ bekannt sind. Dieselben werden durch in den verschiedenen Ablenkungen, welche die Lichtstrahlen auf ihrem Wege von der Lichtquelle nach dem Mikroskope und durch den Gegenstand der Beobachtung erleiden, begründete Interferenzen veranlasst, die in der Einstellebene eine entsprechende, wirkliche Objecte vertretende Lichtvertheilung erzeugen, deren Beugungswirkung jetzt die Grundlage für das schliessliche mikroskopische Bild vorstellt. In Folge dieser Vorgänge treten z. B. längs der dunklen Ränder eines in bestimmter Weise eingestellten Körpers innerhalb und ausserhalb seiner Grenzlinien einer oder mehrere, mit dunklen Linien abwechselnde Lichtstreifen auf, welche bei intensiver Beleuchtung wiederum Farbensäume zeigen etc. Derartige Erscheinungen machen sich namentlich bei der Betrachtung durchsichtiger Gegenstände mittelst durchgehenden Lichtes bemerkbar, bei der Beobachtung undurchsichtiger Gegenstände mittelst aufallenden Lichtes kommen sie weit seltener oder gar nicht vor. Am meisten scheinen dieselben durch sehr starke, mittelst künstlichen Lichtes oder Sonnenlichtes bewirkte Beleuchtung begünstigt zu werden, wo sie dann einen um so bedeutenderen Einfluss auf das schliessliche Bild äussern, je stärker die Vergrösserung ist. Um ihnen so weit als irgend möglich vorzubeugen, muss man sich zunächst vor jeder allzugrellen, ja überdies andere Nachtheile besitzende Beleuchtung hüten, und dann zweckentsprechend mit den Vergrösserungen wechseln.

Im Allgemeinen gehören die erwähnten Erscheinungen wohl denjenigen Interferenzerscheinungen an, welche durch die Begrenzung

zwischen durchsichtigen und undurchsichtigen Körpern oder deren Theile hervorgerufen werden. Indessen mag auch in manchen Fällen die Wirkung jener Interferenzen nicht ausgeschlossen sein, welche von Nägeli als „Interferenzen in der Einstellungsebene" betrachtet worden sind.

Wo die beschriebenen Zeichnungen im Bilde auftreten und die Gestaltung der Objecte darauf hinweist, ihren Grund nicht sowohl unmittelbar in dieser, als in der durch ihre brechende und zurückstrahlende Eigenschaften mittelbar veranlassten Lichtvertheilung in der Einstellebene zu suchen, sucht man sich am besten durch Veränderung der Beleuchtung, sowie durch Wechsel in der Einstellung davon zu überzeugen, ob dieselben dem der Objectstructur oder der letzteren angehören, indem man sie in dem letzteren Falle durch diesen Wechsel ganz oder zum Theil entfernen oder in ihren Abständen und ihrer Zahl modificiren kann. Auf alle Fälle muss sich der Ungeübtere mit diesen Erscheinungen hinlänglich bekannt zu machen suchen, um bei der Deutung des Gesehenen durch dieselben nicht irre geführt zu werden.

Einige andere Erscheinungen haben mit den eben beschriebenen zwar grosse Aehnlichkeit, ohne aber eigentliche Interferenzerscheinungen zu sein. Ich meine damit die doppelten oder verbreiterten Linien, welche hier und da auftreten, sich aber bei veränderter Einstellung als einfache, scharfe Linien ohne Breite darstellen. Diese werden durch eine mangelhafte Einstellung veranlasst und lassen sich durch richtigen Gebrauch der feinen Einstellschraube sofort beseitigen. Auch einige Farbenerscheinungen gehören hierher, welche keineswegs Folge mangelhafter Verbesserung der Farbenabweichung der Linsen sind, oder mit den auch bei vollkommener Correction noch auftretenden secundären Farbensäumen zusammenfallen, sondern auf dem eben genannten, von dem Beobachter begangenen Fehler beruhen. So erscheinen z. B., wenn der Gegenstand nicht ganz scharf einsteht, die kleinen Poren in den verdickten Zellwänden, je nach ihrer Grösse oder ihrer Entfernung von dem Brennpunkte an der Innenseite gelblich, röthlich oder blau gefärbt. Aehnlich verhalten sich unter gleichen Umständen kleine kugelförmige Körperchen, indem sie mehr oder minder stark gefärbte Aussenränder zeigen. Hier kann man die störenden Nebenerscheinungen immer nur durch das allergenaueste Einstellen beseitigen, nachdem man den Gegenstand möglichst in die Mitte des Gesichtsfeldes gebracht hat. Gelingt eine Entfernung dieser Farbenerscheinungen auch durch die sorgfältigste Einstellung nicht, dann darf man dieselben, wenn man von der Farbenfreiheit seiner Gläser überzeugt ist, allerdings mit vieler Wahrscheinlichkeit dem Gegenstande selbst zuschreiben.

Von der Genauigkeit der Einstellung wird sich der geübtere Beobachter auf den ersten Blick überzeugen. Weit schwieriger aber gelingt dies dem Anfänger. Als allgemeine Regel in dieser Beziehung lässt sich wohl der Satz aufstellen, dass die richtige Einstellung allemal dann er-

zielt ist, wenn das Bild am kleinsten erscheint und seine Begrenzungslinien die geringste Breite besitzen. In diesem Falle ist dann auch für ebene Körper immer die grösste Schärfe und Deutlichkeit für das Ganze sowohl als für alle einzelnen Theile vorhanden.

Fremde Körper und Processe. Während die im Vorhergehenden abgehandelten Erscheinungen nur dem Bilde angehören, welches durch die Objectivsysteme des zusammengesetzten Mikroskopes entworfen wird, haben wir es hier mit einer Reihe von Vorkommnissen zu thun, welche allerdings nicht dem Gegenstande der Beobachtung selbst eigen sind, die aber wirklichen Erscheinungen und Gegenständen entsprechen, welche mit demselben zu gleicher Zeit im Sehfelde auftreten. Dieselben haben ihren Grund entweder in den sogenannten entoptischen Gesichtserscheinungen oder in fremden Körperchen, welche sich auf den Gläsern des optischen Apparates oder auf dem Objecträger befinden. Um die hierdurch veranlassten Täuschungen bei der Beurtheilung des mikroskopischen Bildes auszuschliessen, haben wir uns zunächst mit allen hierher gehörigen Erscheinungen, Gegenständen etc., welche etwa bei mikroskopischen Untersuchungen vorkommen können, vertraut zu machen, und dann alles das genau kennen zu lernen, was über die Gestaltung eines betreffenden Gegenstandes der Untersuchung bereits bekannt gemacht worden ist. 271

Was den ersten Theil dieser Forderung betrifft, so müssen wir im Auge behalten, dass die Gegenstände mikroskopischer Wahrnehmungen entweder Formen oder Processe sind.

Die ersteren können wieder entweder durch gestaltete Objecte — entoptische Gesichtserscheinungen, fremde Körperchen — oder durch in durchsichtige Medien eingeschlossene Luft- und Gasbläschen etc. hervorgerufene Formen sein.

Die sogenannten entoptischen Gesichtserscheinungen, vorzüglich aber die Mouches volantes, mögen bei schwierigen Beobachtungen allerdings hinderlich werden, indem sie störend auf die Sichtbarkeit feinerer Einzelheiten und namentlich kleinerer Körperchen wirken. Eine eigentliche Täuschung wird aber kaum durch dieselben hervorgerufen werden können, da man durch Aenderung der richtigen Einstellung leicht wahrnimmt, dass sie mit dem Gegenstande der Beobachtung nichts gemein haben. Während dieser hierbei nämlich undeutlich wird, bleiben die Mouches volantes unverändert; ausserdem bewegen sich dieselben mit dem Auge, während das Bild des Gegenstandes fest stehen bleibt.

Ebensowenig äussern Staubtheilchen, Kritzel und dergleichen, welche sich auf der Oberfläche der Gläser befinden, einen irgend erheblichen Einfluss auf die Richtigkeit der Beobachtungsresultate. Wo dieselben in dem Sehfelde erscheinen, was überhaupt nur bei Schmutztheilchen auf den Gläsern der Oculare stattfindet, da sind sie so leicht kenntlich, dass man nicht irre geführt werden kann und bei einiger Uebung im mikro-

skopischen Sehen sie ganz und gar übersieht. Sorgfältige Reinhaltung des Instrumentes schützt übrigens vor Störungen dieser Art.

Eher schon wirken fremde, geformte Gegenstände, welche sich auf dem Objectträger befinden, auf das Resultat der Untersuchung ein. Hierher gehören namentlich kleine Theile von thierischen und pflanzlichen Geweben, als Fasern von Papier, Leinwand, Wolle, Epithelialzellen der Oberhaut oder der Mundschleimhaut, Haarfragmente von den Pinseln und dergleichen. Dann finden sich in dem zur Benetzung der Objecte gebrauchten Wasser häufig kleine Infusorien, einzellige Algen, Spaltpilze, Pilzsporen, kleine Stärkemehlfragmente, Staubtheilchen, Insectenschüppchen, welche man, da sie meistens in der Luft umhergeführt werden, nicht immer ganz entfernt halten kann. Sind solche Gegenstände für den erfahrenen Beobachter so zu sagen gar nicht vorhanden, indem sie ihm als bekannte und unwesentliche Dinge nicht mehr auffallen, so muss sich der Anfänger doch durch eigene Anschauung hinreichend damit vertraut machen, um sie vorkommenden Falles eliminiren zu können.

Von denjenigen Formen, die unter gewissen Bedingungen bei an sich formlosen Stoffen hervorgerufen werden, sind es namentlich die Luftbläschen oder Bläschen anderer Gasarten, welche mechanisch in der Beobachtungsflüssigkeit oder in Geweben eingeschlossen sind, sonach mit den eigentlichen Beobachtungsgegenständen im innigen Vereine auftreten. Dieselben erscheinen bei mittlerer Einstellung unter dem Mikroskope als runde Körperchen mit nach innen dunkelschwarzem, von hellen Ringen unterbrochenem, nach aussen dunkelgrauem, von ähnlichen Ringstreifen eingefasstem Rande und kleinem, rundem, ungleichmässig hellem Centrum. Fig. 219 b. und c. Ihr Aussehen ist so charakteristisch, dass sie sich sofort erkennen lassen. Ausserdem erblickt man beim Senken des Tubus in dem Brennraume, resp. dem Bilde der Blendung, die Scheinbilder von in der Nähe befindlichen, in dem Beleuchtungsspiegel sich abspiegelnden Gegenständen, der Fensterkreuze und dergleichen (Fig. 219 a. bei x), so

Fig. 219.



Luftbläschen unter dem Mikroskope. a. Einstellung auf den Brennraum. b. Einstellung auf den Durchschnitt. c. Gleiche Einstellung bei Abhaltung des Seitenlichtes. 1 : 145.

dass sie auch den Anfänger im Beobachten kaum zu täuschen vermögen. Leichter schon ist eine Täuschung möglich, wenn die in den Höhlungen organischer Körper eingeschlossene Luft deren Formen annimmt. Da

man nämlich häufig geneigt ist, die durch das Mikroskop erhaltenen Gesichtseindrücke mit denjenigen des blossen Auges in Uebereinstimmung zu bringen, so kann es vorkommen, dass man die in den Intercellularräumen und anderen Höhlungen enthaltene, schwarz erscheinende Luft für eine undurchsichtige Materie hält. Wer nicht Uebung genug besitzt, um schon durch den blossen Anblick Luft von einer festen Substanz unterscheiden zu können, der wird durch Tränken solcher lufthaltigen Gewebe mit Alkalien, Weingeist und dergleichen, welche Mittel die Luft bald aufnehmen, sich die nöthigen Anhaltspunkte zu verschaffen suchen müssen.

In ähnlicher Weise wie Luftblasen stellen sich in Wasser vertheilte Oel- und Fetttröpfchen (Fig. 220) oder überhaupt Tröpfchen solcher dich-

Fig. 220.



Oeltropfen unter dem Mikroskop. a. Einstellung auf den Rand. b. Etwas höhere Einstellung. c. Einstellung auf den Brennraum.

teren Flüssigkeiten, die sich mit jenem nicht mischen, unter dem Mikroskope dar; nur ist der schwarze Rand bei denselben weit schmäler wie bei jenen. Die Bilder von äusseren Gegenständen, welche die Oeltröpfchen erzeugen, unterscheiden sich ebenfalls von denen der Luftbläschen, indem die ersteren wie eine doppelt convexe Linse wirken und daher ein wirkliches Bild erzeugen, welches beim Heben des Tubus sichtbar wird.

Noch leichter als die vorhergehenden können solche Formen zu Täuschungen Veranlassung geben, welche durch das Zusammentreffen flüssiger Substanzen von verschiedener Dichtigkeit hervorgerufen werden, indem entweder die weniger dichte von einer anderen, dichteren Flüssigkeit eingehüllt wird, oder erstere in letztere eindringt. So z. B. sondern sich nicht selten einzelne Partien des aus verletzten Zellen hervorquellenden Inhaltes im Wasser des Objectträgers in rundliche Massen, welche anscheinend von einer Membran eingeschlossen werden. Es entstehen ferner in der dichteren Flüssigkeit kugelige, von der weniger dichten Substanz erfüllte Räume, sogenannte Vacuolen, welche man, auch wenn dies nicht der Fall ist, als von einer Membran umgrenzt betrachten könnte.

Andere, namentlich sehr dickflüssige Substanzen erscheinen, wenn sie in Flüssigkeiten gebracht werden, mit denen sie sich nicht mischen, ebenfalls in mancherlei Formen, die bald fadenförmig, bald membranartig sind, bald sich mehr der Tropfen- oder Bläschenform nähern. Man muss

sich indessen wohl hüten diese für etwas Selbständiges zu halten und, um Irrthum zu vermeiden, mit der Wirkungsweise der Flüssigkeiten auf einander wohl vertraut zu machen suchen.

Unter den Processen, welche dem Mikroskopiker Veranlassung zur Täuschung werden können, sind vorzugsweise einige Bewegungserscheinungen hervorzuheben.

Zu denjenigen Bewegungserscheinungen, welche unter dem Mikroskope am häufigsten auftreten, gehört die von Robert Brown entdeckte Molekularbewegung. Es findet dieselbe sowohl bei organischen als unorganischen Stoffen statt, wenn dieselben in Form von hinreichend kleinen Körnchen in einer Flüssigkeit suspendirt sind. Auf die Form der Körper kommt es dabei gar nicht an. Dieselben mögen rund oder eckig, nach allen drei Dimensionen gleichmässig ausgedehnt, plattenartig oder nadelförmig sein, die Bewegung tritt ein, sobald sie eben nur klein genug sind. Die letztere selbst ist schwer zu beschreiben. Man muss sich daher mit derselben durch öftere Beobachtung an verschiedenen Körpern möglichst vertraut machen, um sie genau von anderen, ähnlichen Bewegungen unterscheiden zu lernen. Ein sehr günstiges Object zu ihrer Beobachtung bei organischen Substanzen bildet der Inhalt der Pollenkörner, welcher aus der gesprengten Hülle ausgetreten ist. Von anderen Körpern zeigen die Molekularbewegung sehr schön mit Wasser abgeriebener Carmin oder Indigo.

Durch das Vermischen zweier ungleichartiger Flüssigkeiten entstehen in der Regel Bewegungserscheinungen, welche sich um so mehr steigern, je grösser die Anziehung zwischen beiden und je flüchtiger die eine derselben ist. Häufig zu beobachten sind dieselben z. B. beim Zusatz von Alkohol oder alkoholischer Jodlösung zu Wasser, und sie dauern dann so lange, als beide Flüssigkeiten sich noch nicht vermischt haben. Die Bewegung ist leicht zu erkennen, indem dieselbe keineswegs regelmässig erscheint, sondern mehr in einzelnen unregelmässigen Stössen erfolgt. Kleine in der Flüssigkeit suspendirte Köperchen werden dadurch, indem die Strömungen sie fortreissen, in eine hin- und hergehende oder tanzende Bewegnng versetzt. Am auffallendsten sind diese Bewegungen, welche zuerst von J. H. Weber und dann von Harting näher beschrieben wurden (Poggendorff's Annalen Bd. 114, S. 447 und Bd. 117, S. 51), bei solchen sehr kleinen Körperchen, welche sich in der Nähe von Luftbläschen befinden, die in einem nach bestimmten Verhältnissen bewirkten Gemenge von Alkohol und Wasser eingeschlossen sind.

Verdunstende Flüssigkeiten rufen ebenfalls häufig Bewegungen hervor, die vorzugsweise bemerklich werden, wenn man die mikroskopischen Objecte unter Deckgläschen beobachtet. Es finden dann in der Regel zwei einander entgegengesetzte Strömungen statt, die nach beiden Richtungen kleine Körperchen mit sich fortreissen oder in eine drehende Bewegung versetzen. Aehnliche Ströme und Bewegungen treten in Folge des Entweichens von in Flüssigkeiten eingeschlossenen Luftbläschen auf

und es ist mir nicht selten vorgekommen, dass kleine organische Elemente mehr oder weniger schnell das ganze Sehfeld durchliefen und dann verschwanden. Täuschungen werden diese Bewegungen indessen höchstens bei dem Anfänger zu veranlassen im Stande sein, während der geübte Beobachter kaum von denselben beirrt wird.

II. Verwendung des optischen Apparates.

1. Beleuchtung der Objecte.

Die Art der Beleuchtung wird je nach der Beschaffenheit des zu beobachtenden Präparates eine verschiedene sein müssen, indem manche Gegenstände eine Beobachtung in diffuser Lichtstrahlung, also die Anwendung von auffallendem, andere, eine Durchleuchtung, also den Gebrauch von durchfallendem, weissem oder einfarbigem Licht erfordern, manche, neben der letzteren Beleuchtungsart, auch noch eine Betrachtung positiver Bilder auf dunklem Grunde erwünscht machen.

Beleuchtung mittelst auffallenden Lichtes. Arbeitet man mit auffallendem Lichte, so ist es gut, das Mikroskop nahe an das Fenster zu bringen, um dem Objecte die möglichst grösste Lichtmenge zuzuführen. Helles Tageslicht ist in der Regel für diese Beobachtungsweise vollkommen ausreichend und braucht man höchstens in Ausnahmefällen seine Zuflucht zu directem Sonnenlichte zu nehmen. Alles von dem Spiegel kommende Licht muss bei dieser Beleuchtungsweise von dem Objecte abgeschnitten werden. Hier und da wird es genügen, dem Spiegel eine solche Stellung zu geben, dass derselbe kein Licht nach dem Objecttische reflectirt. Wo dies indessen nicht ausreicht, da bedeckt man die Oeffnung des letzteren mittelst einer undurchsichtigen Platte, die in der Regel geschwärzt ist, bei dunklen Gegenständen dagegen auch matt weiss angestrichen sein kann. 272

Für die allerschwächsten Vergrösserungen genügt das einfache Tageslicht zur Beleuchtung, während bei stärkeren bis etwa 200fachen Vergrösserungen, welche für die hier in Betracht kommenden Objecte meist ausreichen, eine besondere, planconvexe Beleuchtungslinse verwendet wird, welche entweder auf einem eigenen Stative ruht, oder an dem Mikroskopkörper befestigt werden kann. Man richtet dieselbe beim Gebrauche so, dass sie die auf ihre vordere Fläche fallenden Lichtstrahlen gerade auf dem Objecte vereinigt und dieses die stärkste zu erreichende Beleuchtung erhält.

Dunkelfeldbeleuchtung. Die sogenannte „Dunkelfeldbeleuchtung“, „dark-field-illumination“, d. h. diejenige Beleuchtungsweise, wobei das Object als positives Bild auf dunklem Grunde gesehen wird, ist 273

zuerst von England aus empfohlen worden und dürfte sich für manche Gegenstände als ganz zweckmässig erweisen, da man mittelst ihrer bei Anwendung guter Objectivsysteme auch noch bei stärkeren Vergrösserungen recht scharfe und deutliche, wegen ihres plastischen Hervortretens meist höchst charakterische Bilder erhält. Dieselbe beruht — da die Zurückwerfung von der Deckglasoberfläche nach dem Objecte und von diesem aus nach dem Objective meist eine nur untergeordnete Rolle spielt — vorzugsweise darauf, dass diejenigen Strahlen, welche aus dem durch die durchsichtigen Theile des Präparates hindurchgetretenen Lichtkegel vermöge der Objectstructur abgebeugt wurden, in die Oeffnung des Objectivsystemes eintreten, während der direct einfallende Lichtbüschel in irgend einer der nachbeschriebenen Weisen von dem Eintritt in die Oeffnung des Mikroskopobjectives abgeschnitten wird und so eine ausschliesslich aus Maxima zweiter Ordnung gebildete Beugungsfigur entsteht.

Bei schwachen Objectivsystemen mit kleinerer Oeffnung benutzt man zur Erzielung dieser Beleuchtung den gewöhnlichen Spiegel des Mikroskopes, welchem man eine so weit aus der Achse gerückte Stellung giebt, dass der in schiefer Richtung einfallende, directe Lichtbüschel nicht mehr in die Oeffnung des Objectivsystemes trifft und nur jene Strahlen, welche in dem Objecte durch Beugung abgelenkt werden, in das Mikroskop gelangen können (Fig. 221).

Fig. 221.

Für stärkere Vergrösserungen, die mittelst Objectivsystemen von 6 bis 2 mm Brennweite und mässiger oder grösserer Oeffnung erzielt werden, eignen sich für diese Art der Beleuchtung recht gut die auf Seite 270 besprochene planconvexe Beleuchtungslinse in Verbindung mit den scheibenförmigen, den grössten Theil der Achsenstrahlen abschneidenden Blendungen oder — wo er vorhanden ist — der Abbe'sche Beleuchtungsapparat.

Mittelst dieser Vorrichtungen kann man noch ganz gut bei 300- bis 600fachen Vergrösserungen beobachten, während das Sehfeld fast vollständig dunkel bleibt und man den Gegenstand für dessen Abbildung bei Immersionssystemen nur die im Objecte abgelenkten, und zwar vorzugsweise abgebeugten Strahlen wirksam werden, gleichsam selbstleuchtend auf schwarzem Grunde erblickt.

Beträgt der Oeffnungswinkel der zu gegebrauchenden Objectivsysteme mehr als 40 bis 50°, so muss derselbe durch Abblendung der äusseren Zone mittelst über der hinteren Linse des Objectivsystemes eingelegter Blendungen entsprechend verkleinert werden und das Auflösungsvermögen wird in gleichem Maasse vermindert.

Beleuchtung mittelst durchfallenden Lichtes. Von grosser 274 Wichtigkeit erscheint für den Gang der mikroskopischen Beobachtung die Regulirung der im ersten Abschnitte theoretisch betrachteten Beleuchtung mittelst durchfallenden Lichtes.

Was zunächst die von verschiedenen Mikrographen empfohlenen Lichtquellen betrifft, so mögen immerhin einzelne Fälle vorkommen, welche zu nächtlichem Gebrauche des Mikroskopes Veranlassung geben oder in denen unzureichende Tagesbeleuchtung der Beobachtung hinderlich wird. Solche Fälle können dann allerdings zur Verwendung des durch blaue Gläser oder in eine Kugel gefüllte Kupferoxydammoniaklösung abgedämpften, etwa mässig hellem Tageslichte gleichkommenden Lampenlichtes nöthigen. Im Allgemeinen aber muss ich mich zufolge langjähriger Erfahrungen dahin aussprechen, dass für tüchtige wissenschaftliche Beobachtungen einzig und allein das Tageslicht geeignet ist und dass für die feineren Untersuchungen ein gleichmässig und hell bezogener, gleichsam dünn verschleierter Himmel am günstigsten, weit weniger günstig aber ein unterbrochen bewölkter oder ganz klarer blauer Himmel als Lichtquelle wirkt.

Die Beleuchtung mittelst monochromatischen Lichtes, welche namentlich von Brewster empfohlen wurde, um die Farbenabweichung gänzlich zu beseitigen, gewährt unter den gewöhnlichen Beleuchtungsverhältnissen nur bis zu mittelstarken Vergrösserungen nennenswerthe Vortheile, da bis jetzt — directes Sonnenlicht ausgenommen — kein Mittel gefunden worden ist, ihr eine solche Stärke zu verleihen, dass man mittelst derselben bei stärkeren Objectivsystemen eine ausreichende Beobachtung ausführen könnte.

Für erstere Vergrösserungen ist namentlich das hellgrüne Licht zu empfehlen, welches durch überall käuflich zu habende, dünne grüne Gläser sich herstellen lässt, die man zwischen Blendung und Spiegel anbringen oder bei dem Abbe'schen Beleuchtungsapparat auf die Blendungsscheibe legen kann. Unter Anwendung directen Sonnenlichtes oder ausreichend intensiven künstlichen Lichtes gestattet das einfarbige rein blaue Licht, welches man mittelst passend gefärbter Gläser oder Kupferoxydammoniaklösung herstellen kann, für die Beobachtung feiner Streifungen und dergleichen insofern eine weitere Ausnutzung des Auflösungsvermögens, als dessen Wellenlänge in dem Verhältniss von etwa 45 : 55 gegen diejenige des weissen Lichtes verkürzt erscheint.

Als eine für die Bildschärfe wichtige Vorsichtsmaassregel sei noch, bevor wir zur Verwendung des Beleuchtungsapparates übergehen, diejenige erwähnt, dass man den Einfluss des von der Seite einfallenden Lichtes auf das Object möglichst zu vermeiden suchen muss, weil dadurch nicht selten Undeutlichkeiten in dem Bilde veranlasst werden. Wenn bei den stärkeren Objectivsystemen schon deren kurzer Abstand von der Oberfläche des Deckglases das Einfallen seitlichen Lichtes hindert und Vorsichtsmaassregeln in dieser Beziehung weniger nöthig macht, so wer-

den diese bei schwächeren, weit abstehenden Objectiven dagegen um so nothwendiger. Am einfachsten hilft man sich durch einen innen geschwärzten Ring von Pappe, welcher den Gegenstand umgiebt, ohne das Mikroskoprohr und den Objectträger in ihren Bewegungen zu behindern. Ein einfacher schwarzer, vor dem Mikroskope aufgestellter Schirm genügt indessen auch schon und kann zugleich dazu dienen, das störende Licht von dem Auge abzuhalten, was oftmals wünschenswerth ist und sich auch, falls man nicht eine der früher beschriebenen Vorrichtungen benutzen will, durch Beschatten mittelst der linken Hand erreichen lässt. Am gründlichsten genügt indessen hier allen Anforderungen nach jeder Seite hin der früher besprochene Flögel'sche Kasten.

In Bezug auf die Verwendung des Beleuchtungsapparates bilden die Ausdehnung der zur Verfügung stehenden ursprünglichen Lichtquelle, sowie die Beschaffenheit des zu untersuchenden Objectes vorzugsweise die maassgebende Richtschnur.

Das nächste Ziel, welches man zu erreichen suchen muss, ist das, eine möglichst gleichmässige Beleuchtung des ganzen Sehfeldes zu erlangen und namentlich eine einseitige Erhellung desselben zu vermeiden. Eine etwas stärkere Beleuchtung der Mitte des Gesichtsfeldes als des Randes ist indessen nicht schädlich, nur darf der letztere nicht ganz verdunkelt erscheinen, weil dadurch für das beobachtende Auge ein zu greller Gegensatz herbeigeführt wird.

275 Centrale Beleuchtung. Für die wissenschaftlichen Beobachtungen wird, wie aus der Theorie der Beleuchtung und der Bilderzeugung, sowie aus den Betrachtungen über das Abbildungsvermögen hervorgeht, vorzüglich die centrale Beleuchtung oder Beleuchtung mit sogenanntem geradem Lichte zur Anwendung kommen müssen, bei der die Achse des Beleuchtungskegels von einem nur einen kleinen Theil der freien Objectivöffnung einnehmenden (in der Austrittspupille gemessenen) Durchmesser in die Achse des Instrumentes trifft. Erscheint nämlich das — je nach Umständen regelmässig, oder mehr bis minder symmetrisch gestaltete — Beugungsspectrum aller einfallenden Strahlen — bei im Verhältniss zur numerischen Apertur ausreichend grossen Maassverhältnissen der Objectstructur — dichter zusammengedrängt, so findet dasselbe in seiner ganzen Ausdehnung, wenigstens bis zu den Grenzen unmerklicher Intensität der abgebeugten Strahlen in der Austrittspupille Raum. Wird die Beugungsfigur dagegen — bei kleineren Maassverhältnissen — eine ausgedehntere, so tritt sie nur mit einem Theil der lichtstärkeren Einzelspectren in der freien Oeffnung auf. In beiden Fällen aber bietet nur die gedachte Beleuchtungsweise die Gewähr, dass das Beugungsspectrum entweder vollständig oder in gewissem Umfange seines mittleren Theiles für die Bildentwickelung zur Wirkung kommt und man hat dann im einen Falle ein wirklich objectähnliches Bild, im anderen aber in dem Bilde

verlässlichere Anzeichen einer typischen dem mittleren Theile der Beugungsfigur entsprechenden Structur vor sich, welche der Bildähnlichkeit umsomehr nahe kommen, je weniger abgebeugtes Licht von merklicher Leuchtkraft verloren geht. Hieraus ergiebt sich aber der wichtige Schluss, dass eine vollständige und genaue Erkenntniss der wirklichen Beschaffenheit der Objecte von dem Mikroskope nur bis zu solcher Grenze der Kleinheit zu erwarten ist, innerhalb deren noch Alles mit centraler Beleuchtung erkannt werden kann.

Von der höchsten Wichtigkeit ist die Abstufung der Beleuchtung, welche sich nach der Beschaffenheit des zu beobachtenden Gegenstandes richten muss. Gerade hierin liegt eines der bedeutsamsten Hülfsmittel, um sich in überzeugender Weise über feinere Structurverhältnisse zu unterrichten und ist von ihrer geschickten Benutzung der Erfolg einer Beobachtung oft in nicht geringem Grade abhängig.

Ueber die Stärke der Beleuchtung lassen sich allgemeine Vorschriften kaum geben. Fände die mikroskopische Beobachtung unter den gleichen physischen Bedingungen statt, wie das Sehen mit freiem Auge, so würde als die günstigste Erhellung des Bildfeldes diejenige anzusehen sein, welche der Helligkeit des Sehens mit freiem Auge gleichkommt und wie wir gesehen haben, erreicht wird bei einer Vergrösserung

$$[N] = \frac{250}{\pi} \cdot a \text{ (Seite 212)}$$

bei der die Bedingung $p^{**} = \pi$ (Halbmesser der Austrittspupille des ganzen Mikroskopes gleich dem Halbmesser der Pupille des beobachtenden Auges) erfüllt ist.

Diese Bedingung (die Helligkeit des Sehens mit freiem Auge) ist aber — selbst bei Benutzung eines die volle Objectivöffnung ausfüllenden Beleuchtungskegels — mit normal construirten Objectivsystemen nur mittelst der geringsten gebräuchlichen Vergrösserungen der schwächeren und mittleren Trockensysteme von 30 bis 6,5 mm Brennweite, der Wasserimmersionssysteme von 4 bis 3 mm Brennweite und der Systeme für homogene Immersion von etwa 3 mm Brennweite (und mindestens 1,25 numerischer Apertur) zu verwirklichen und wir werden daher in Bezug auf die meisten für die feineren wissenschaftlichen Untersuchungen in Betracht kommenden Vergrösserungen hinter ihr ziemlich ansehnlich zurück bleiben.

Nun lehren aber Theorie und Erfahrung, wie die obige Betrachtung, dass enge oder mässig weite Beleuchtungskegel die strengste Bildähnlichkeit bedingen und am besten definirend wirken und man wird daher im Allgemeinen und in der Regel nicht einen die volle Objectivöffnung ausfüllenden, sondern (auch bei den schwachen Systemen) einen durch entsprechende Blendungen eingeengten Beleuchtungskegel von 0,12 (14°) bis 0,40 (etwa 50°) Oeffnung zur Anwendung bringen, welcher nur einen kleineren Theil jener Oeffnung einnimmt und eine Randzone von entsprechender Breite frei lässt, die den Beugungsbüscheln aller einfallenden

Strahlen, welche allein das Bild erzeugen, freien Spielraum gestattet. Die Helligkeit des freien Sehens kann also weder im Allgemeinen, noch da, wo sie bei den zur Erkennung der Structureinzelheiten nothwendigen Vergrösserungen noch zu erreichen sein würde, als Maassstab für die Regulirung der Beleuchtungsstärke dienen.

Das Maass der Erhellung des Bildfeldes und damit die Weite der zu verwendenden Beleuchtungskegel, innerhalb des eben gegebenen Rahmens wird immer für jeden besonderen Fall von der Beschaffenheit der Objectstructur und der durch sie in dem Bildfelde hervorgerufenen Lichtvertheilung abhängen und dahin zu bestimmen sein, dass man diejenige Lichtstärke zur Beobachtung wähle, bei welcher die die scharfe Abbildung bedingenden Lichtcontraste am deutlichsten hervortreten. Je zarter das Object ist und je schwieriger die zu erforschenden Structurverhältnisse zu sehen sind, um so mehr Sorgfalt wird man auf die Abstufung der Beleuchtung zu verwenden haben. Je weniger Durchsichtigkeit dagegen das Object besitzt, desto mehr muss in der Regel die Erhellung gesteigert und das Licht durch Verwendung geeigneter Blendungen auf dem Objecte oder den der Durchforschung unterworfenen Theilen desselben concentrirt werden.

Die von Dr. Koch zuerst durchgeführte und empfohlene — im Allgemeinen nicht statthafte — Verwendung des die volle Objectivöffnung ausfüllenden Beleuchtungskegels, wie ihn übrigens für Systeme über 40° bis 50° Oeffnung hinaus nur der Abbe'sche oder ein ähnlicher Beleuchtungsapparat ergeben, kann thatsächlich in einzelnen Fällen von entschiedener Bedeutung werden. So z. B. entfaltet diese Beleuchtungsweise überall da eine vorzügliche Wirkung, wo es sich darum handelt, sehr kleine, mit anderen Structuren verwebte, Structurelemente oder isolirte Körperchen zur Anschauung zu bringen, welche entweder von selbst oder durch künstliche Veranstaltung: Färbung und dergleichen lichtabsorbirend wirken und so sichtbar bleiben, während jene sich bloss durch Unterschiede in dem Brechungsvermögen von einander abhebende Elemente bei der allseitigen, von dem vollen Beleuchtungskegel ausgehenden Durchstrahlung des Präparates verschwinden.

276 Schiefe Beleuchtung. Für manche feinere Structurverhältnisse, namentlich solche, deren Elemente, welcher Art sie sonst sein mögen, regelmässig gruppirt erscheinen, z. B. in Form von einfachen, oder sich unter beliebigem Winkel kreuzenden Lieniensystemen angeordnet sind, und so geringe lineare Ausmessungen besitzen, dass die durch sie erzeugte Beugungsfigur eine grosse Ausdehnung erlangt und bei geradem Lichte höchstens zum kleineren Theile von dem Objectivsysteme aufgenommen werden kann, erlangt die schiefe Beleuchtung, bei der die Achse des Beleuchtungskegels gegen die optische Achse des Mikroskopes mehr oder minder geneigt erscheint, ihre Bedeutung, während sie für alle solche Structuren, welche eine nur wênig ausgedehnte Beugungsfigur erzeugen

und objectähnliche Bilder gewähren, ausser Anwendung bleiben kann und eher Nach- als Vortheile gewährt. Das Wesen der schiefen Beleuchtung besteht nämlich darin, dass, während das directe Bild der lichtgebenden Fläche (des Spiegels oder der Blendung) bei möglichst schiefem Einfalle an den einen Rand der Austrittspupille des Objectivsystemes tritt, nach der entgegengesetzten Seite hin auch noch Beugungsbüschel Zutritt zu derselben erlangen können, für welche der Sinus ihres Ablenkungswinkels über den Sinus des halben Oeffnungswinkels hinausgeht, beziehentlich dem Zweifachen desselben gleich wird. Dem Anfänger ist es daher auf das Angelegentlichste zu empfehlen, sich bei gleichzeitiger Beobachtung der Austrittspupille und der darin auftretenden Beugungsfigur an passenden Objecten, wozu namentlich die schwierigeren Diatomeenschalen gehören, mit der Anwendung und Wirkungsweise der schiefen Beleuchtung vertraut zu machen.

Letztere, wie die Bedeutung der schiefen Beleuchtung, sind vor dem Erscheinen der Abbe'schen Beiträge zur Theorie des Mikroskopes und der mikroskopischen Wahrnehmung allgemein verkannt und überschätzt worden und werden dies von manchen Mikroskopikern noch jetzt, indem sie von derselben Aufklärungen erwarten, welche sie durchaus nicht zu geben im Stande ist.

Dass die schiefe Beleuchtung, wo sie bei gerader Beleuchtung nicht sichtbare Structureinzelheiten zur Anschauung bringt, dies nicht durch Erzeugung von Schatten bewirkt, lehren sowohl die Theorie, wie Erfahrung und Versuch, indem diese den Beweis liefern, dass die Wirkung derselben ganz dieselbe bleibt sowohl für Objecte, welche möglicherweise Schatten werfen könnten, wie für solche, bei denen diese ganz ausser Betracht kommen, also nicht auf der Neigung der beleuchtenden Lichtstrahlen gegen die Ebene des Objectes, sondern gegen die optische Achse beruht.

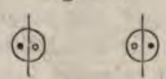
Zur Erzielung der Objectähnlichkeit des mikroskopischen Bildes kann die schiefe Beleuchtung keineswegs verhelfen, da bei Objecten, deren volles Spectrum in der Austrittspupille Raum findet, wie bei denjenigen, von deren Beugungsfigur nur ein kleiner Theil aufgenommen wird, im günstigsten Falle nur die eine Hälfte des vollen Spectrums oder dieses Theiles zur Wirksamkeit gelangen kann, während die andere abgeblendet wird, im anderen Falle aber der wirksame, nicht abgeblendete Theil des Beugungsspectrums eine ganz andere Anordnung der Einzelspectren ergeben kann, als sie der genau hälftigen Abblendung entspricht. Bei dieser Beleuchtungsweise kann daher selbst für verhältnissmässig gröbere Structuren im Allgemeinen keine vollständige Aehnlichkeit mehr zwischen Object und Bild bestehen. Vor Allem aber gehören alle Bilder von solchen Structuren, welche erst schiefer Beleuchtung zugänglich werden, ohne Einschränkung in die Reihe der unvollständigen oder typischen, mehr oder minder schematischen, Abbildungen.

Der einzige Erfolg, welcher durch die schiefe Beleuchtung — und zwar nur in Bezug auf das Auflösungsvermögen für regelmässige feine Structuren — erzielt wird, beruht auf der berührten Lagenänderung des Beugungsspectrums und so erreicht man mittelst ihrer, in gewissem Sinne und in gewissem Umfange, dasselbe Resultat, wie mittelst Vergrösserung des Oeffnungswinkels.

277 Beleuchtung mittelst Doppelkegel. Eine eigenartige Beleuchtung mittelst doppelter Strahlenkegel, welche sich mittelst des Abbe'schen oder eines ähnlichen Beleuchtungsapparates durch Verwendung der früher erwähnten Doppelblendungen leicht herstellen lässt und wobei man es in der Gewalt hat, Weite und Neigung des Beleuchtungskegels nach Bedürfniss zu ändern, erfordert die stereoskopische Beobachtung bei stärkeren, über 300 fach hinausgehenden Vergrösserungen, wenn der betreffende Apparat seine volle Wirkung entfalten soll. Bei dem Gebrauche von Objectivsystemen mit kleiner Brennweite und entsprechend grosser numerischer Apertur kann nämlich gemäss der Bedingungen des stereoskopischen Sehens in Bezug auf Parallaxe eine viel weiter gehende Differenzirung der beiden Bilder erreicht werden, wenn an Stelle eines axialen Strahlenkegels zwei gegen die Achse entgegengesetzt geneigte Kegel derart zur Beleuchtung verwendet werden, dass ein Bild von dem einen, das zweite von dem anderen erzeugt wird und es lässt sich die numerische Apertur stärkerer Objectivsysteme zu Gunsten einer gesteigerten stereoskopischen Wirkung ausnutzen, ohne dass man unvortheilhaft weite, die Deutlichkeit des Bildes und die Focustiefe beeinträchtigende Strahlenkegel zu verwenden nöthig hat.

Die Austrittspupillen müssen hierbei selbstverständlich beide halbseitig abgeblendet werden, damit das eine Bild nur von dem einen, das zweite nur von dem anderen der beiden Beleuchtungskegel Licht empfängt. Die Lichtvertheilung in den beiden Pupillen entspricht dabei dem nebenstehenden Schema (Fig. 222) und es versteht sich ohne Weiteres, dass

Fig. 222.



die Helligkeit des Bildes für beide Augen zusammen genau dieselbe ist, welche einer der beiden Strahlenkegel ohne Abblendung ergeben würde.

Diese Beleuchtungsweise setzt sehr vollkommen corrigirte und genau berichtigte Systeme voraus, wenn die Schärfe des Bildes nicht leiden soll, gestattet dann aber noch äusserst treffende stereoskopische Wirkungen mit Objectivsystemen von 2 mm und weniger Brennweite, sobald die betreffenden Objecte in einem geringen Tiefenraume eine charakteristische Gliederung darbieten.

2. Verwendung des bilderzeugenden Apparates.

Wahl der Objectivsysteme und Oculare. Für Wahl und Verwendung des abbildenden Apparates — Objectivsystem und Ocularapparat — kommen vorzugsweise drei Gesichtspunkte in Betracht: Erstens die Fähigkeit desselben von einem vorliegenden Objecte oder einer Structur überhaupt ein Bild zu erzeugen, zweitens das Maass der Vergrösserung und drittens der Grad der Erhellung des Sehfeldes, bei welchen dieses Bild dem Auge mit ausreichender Deutlichkeit zur Anschauung gebracht werden kann. 278

Erstere Fähigkeit in ihren verschiedengradigen Abstufungen wird — unter Voraussetzung der möglichst vollkommenen Construction — bekanntlich einzig und allein durch die numerische Apertur der Objectivsysteme bedingt. Wir haben demgemäss zunächst dasjenige im Allgemeinen durch die Gleichungen für a auf Seite 158 u. f. bestimmte Maass der Oeffnung in Aussicht zu nehmen, welche für Objecte und Structuren von gegebenen linearen Ausmaassen und je nachdem eine Object und Structur getreu oder möglichst getreu wiedergebende, oder eine typische nur die Anzeichen der Structur darbietende Abbildung erzielt werden soll oder kann, in Anwendung zu kommen hat. Haben wir es mit groben Structuren zu thun, deren lineare Ausmaasse sehr grosse und grosse Vielfache der Wellenlänge des weissen Lichtes — bis etwa 8 — 6 μ, äussersten Falles selbst bis 4 — 3 μ herab — betragen, so dass alles durch sie abgebeugte Licht in einem sehr kleinen Winkelraum enthalten ist, dann wird schon eine sehr kleine für die typische, eine verhältnissmässig kleine oder mässige numerische Apertur aber zur objectähnlichen Abbildung ausreichen. Bei der Beobachtung derartiger Objecte, welche in der Regel auch eine mehr oder minder deutliche Wahrnehmung der körperlichen Gestaltung wünschenswerth machen, sind bei den mittleren Brennweiten von etwa 16 mm bis 4 mm die sogenannten Arbeitssysteme, wie sie in der Zeiss'schen Serie A bis D vorliegen, am Platz, welche einen verhältnissmässig grösseren Objectabstand besitzen, gegen die Dicke des Deckglases, wie der Objecte selbst und der sie umhüllenden Flüssigkeitsschicht viel weniger empfindlich sind und eine grössere Sehtiefe gewähren, als solche mit grösserer numerischer Apertur.

Kommen Structuren zur Beobachtung, deren lineare Ausmaasse unter jene und bis auf etwa 2 μ herabgehen, so dass der von ihnen erzeugte volle Beugungskegel nur von einem verhältnissmässig grösseren Winkelraume oder dem Raume der Halbkugel, ja — für Luft gerechnet — nicht einmal von diesem umfasst werden kann, dann werden zur typischen Abbildung mässige Oeffnungen noch ausreichen, während man, um objectähnliche oder doch nahezu objectähnliche Bilder zu er-

halten, zu Objectivsystemen mit grösserer und möglichst grosser numerischer Apertur greifen muss, welche die von jenen Objecten in ihrer Austrittspupille erzeugte Beugungsfigur entweder ganz oder doch in ihren noch merklich lichtstarken Theilen aufzunehmen im Stande sind. Die mittleren Objectivsysteme mit grösserer numerischer Apertur, die stärkeren Trockensysteme mit numerischen Aperturen bis zu 0,85 und die beiden Gattungen der Immersionssysteme mit numerischen Aperturen von 1,00 bis 1,30 verdienen dann, da es sich in der Regel auch um Objecte handelt, welche entweder von Natur aus sehr dünn sind oder in Form von dünnen Durchschnitten hergestellt werden müssen, den Vorzug. Hier namentlich macht sich die Bedeutung der Immersionsmethode geltend, insofern dieselbe bei der Abbildung eines Objectes innerhalb eines Mediums von hohem Brechungsvermögen kürzere Wellenlängen wirksam macht und damit die Winkelausbreitung der Beugungsbüschel verhältnissmässig verkleinert.

Liegen endlich Structuren vor, deren lineare Ausmaasse nur sehr kleine Vielfache oder gar Bruchtheile der Wellenlänge des Lichtes betragen, deren Beugungskegel also eine so weite Ausbreitung erlangt, dass in Luft nur noch ein kleiner Theil desselben oder gar keines der abgebeugten Lichtbüschel in dem Winkelraume von 180° Raum findet, so ist selbst unter Verwendung der höchsten bis jetzt erreichbaren numerischen Aperturen keine objectähnliche Abbildung mehr zu erreichen, und man muss Objectivsysteme mit möglichst grossen numerischen Aperturen in Gebrauch nehmen, um möglichst scharf markirte und bei gerader Beleuchtung möglichst an die Bildähnlichkeit heranreichende Anzeichen der betreffenden Structureinzelheiten, d. h. möglichst vollkommen und vollständige typische Bilder zu erhalten.

Das geringste Maass der Gesammtvergrösserung, bei welcher die abgebildeten Structureinzelheiten einem normal gebauten Auge unter Annahme einer Sehweite von 250 mm noch zur Wahrnehmung gebracht werden können — die förderliche oder nutzbare Vergrösserung —, wird, wie wir bereits früher dargelegt haben, im Allgemeinen erhalten, wenn man den numerischen Werth des zum deutlichen Sehen erforderlichen Sehwinkels (unter normalen Verhältnissen zwei Bogenminuten) mit der Sehweite multiplicirt und durch das lineare Ausmaass der Structurelemente dividirt. Danach ist

$$N = \frac{250 \, . \, 0{,}000582}{e} = \frac{145{,}5}{e}.$$

Da nun e, wie die Gleichungen auf Seite 158 u. f. lehren, für die objectähnliche wie für die typische Abbildung stets durch das numerische Maass a der Oeffnung ausgedrückt werden kann, so ist unter Voraussetzung der Wellenlänge von 0,55 μ allgemein

$$N = \frac{145{,}5}{m \, . \, 0{,}55} \cdot a,$$

wobei $m = 0{,}5$ oder $= 1$ — für die typische Abbildung bei äusserst schiefer und rein centraler Beleuchtung — sein, oder auch für die der Objectähnlichkeit sich mehr oder minder nähernde oder dieselbe erreichende jede beliebige ganze oder gemischte Zahl vorstellen kann [1]).

Aus dieser Gleichung lässt sich einerseits ersehen, dass wir schon mittelst kleiner und mittlerer Vergrösserungen ansehnlich feine Structurverhältnisse zur Anschauung bringen können und dass selbst so feine Structuranzeichen, wie sie in den Streifen von Amphipleura pellucida vorliegen ($e = 0{,}25\,\mu$) und welche zur Auflösung schon eine numerische Apertur von 1,22 bis 1,25 verlangen, zur Wahrnehmung für ein normal gebautes Auge keine höhere Vergrösserung als solche bis zu etwa 650 nothwendig machen, während dieselbe für ein Auge, das einen Sehwinkel von $3'$ bedürfte, auf nahezu 1000 steigen würde. Auf der anderen Seite geht daraus hervor, dass die numerischen Aperturen, welche Structurelemente von nur wenige Mikron betragenden Ausmaassen zu ihrer objectähnlichen Abbildung verlangen, aus den in der Theorie des Mikroskopes erörterten Gründen die Verwendung von Objectivsystemen mit verhältnissmässig kurzen Brennweiten bedingen, die mit den schwächeren Ocularen schon Vergrösserungen gewähren, welche ansehnlich über die theoretisch geforderten und berechneten hinausgehen.

In Bezug auf das Maass der Erhellung des Sehfeldes haben wir bereits die genügenden Anhaltspunkte bei der Betrachtung über Regulirung der Beleuchtung gewonnen. Wollen wir nun für die zur genügenden Flächenausbreitung des von einer bestimmten numerischen Apertur erzeugten Bildes nothwendigen, gemäss der voranstehenden Erörterungen ziffermässig bestimmbaren Vergrösserungen die Weite der aus dem Mikroskope austretenden, in das beobachtende Auge gelangenden Lichtbüschel und damit die entsprechende verhältnissmässige Erhellung des Sehfeldes kennen lernen, so brauchen wir nur den diesen Vergrösserungen entsprechenden Werth von p^{**} aufzusuchen. Dieser ergiebt sich aber, wenn wir für N den oben berechneten Werth einsetzen und die numerische Apertur des zur Anwendung kommenden Beleuchtungskegels wie früher mit α bezeichnen, für centrale und äusserst schiefe Beleuchtung aus den Gleichungen

$$p^{**} = \frac{250 \,.\, 0{,}55}{250 \,.\, 0{,}582 \,.\, a} \cdot \alpha = \frac{\alpha}{a} \cdot \frac{0{,}55}{0{,}582}.$$

---

[1]) In der Form $N = \frac{145{,}5}{0{,}5 \,.\, 0{,}55} \cdot a = 529 \,.\, a$ ergiebt diese Gleichung die geringste Gesammtvergrösserung, welche in Anwendung gebracht werden muss, um das Auflösungsvermögen einer gegebenen numerischen Apertur zu erschöpfen, während ihre Umkehrung $a = \frac{N}{529}$ die geringste numerische Apertur anzeigt, welche diejenigen Structurmerkmale abzubilden vermag, deren Wahrnehmung durch eine vorliegende Gesammtvergrösserung noch eben erreicht wird.

und

$$p^{**} = \frac{\alpha}{2a} \cdot \frac{0,55}{0,582}$$

Hieraus ersehen wir, dass unter den bei der mikroskopischen Beobachtung normalen Beleuchtungsverhältnissen und wenn π wieder $= 1,25$ mm angenommen wird, die Erhellung des Bildes noch weit hinter der Helligkeit des Sehens mit freiem Auge bei sehr hellem Tageslicht zurückbleiben muss. Erstere sinkt schon bei schwächeren Vergrösserungen auf $^1/_5$ bis $^1/_{10}$ der letzteren und geht bei mittleren und stärkeren bis auf wenige Procente derselben herab.

279 Im Allgemeinen lässt sich aus den vorausgehenden Betrachtungen der Schluss ziehen, dass zur Beobachtung derjenigen Objecte und Structuren, welche wissenschaftlich wirklich verwerthbare Untersuchungsresultate gewähren können, verhältnissmässig geringe Vergrösserungen ausreichend sind und dass wir für die eigentliche Ermittelung auch der feineren morphologischen und histologischen Thatsachen in keinem Falle weit über die mittelst schwächerer und mittlerer Oculare erzielbaren Vergrösserungen hinaus zu gehen brauchen, welche einerseits die stärkeren Trocken-, andererseits die Immersionssysteme beiderlei Art uns zur Verfügung stellen.

Für besondere Zwecke: Zeichnung sehr kleiner Einzelheiten, Messungen, Zählungen und dergleichen mögen sich etwas höhere Vergrösserungen allerdings wünschenswerth und nützlich erweisen. Aber auch in diesen Fällen begnüge man sich immer mit dem möglichst geringsten Maass der Steigerung und halte an dem Grundsatze fest, unter den gewöhnlichen Beleuchtungsverhältnissen und ohne Verwendung einer Lichtquelle von sehr grosser Intensität niemals sehr weit über diejenigen Vergrösserungen hinauszugehen, welche von den das Abbildungsvermögen des in Anwendung kommenden Objectivsystemes erreichbaren Structureinzelheiten gefordert werden, damit nicht die Erhellung des Bildes eine die volle Verlässlichkeit herabdrückende Einbusse erleide.

Da die meisten bei wissenschaftlichen Beobachtungen vorkommenden Untersuchungsgegenstände nicht von so einfachem Baue sind, dass man unmittelbar den eben theoretisch abgeleiteten allgemeinen Regeln folgen kann, so werden sich für die Praxis mannigfache Modificationen derselben ergeben müssen. Bezüglich der Vergrösserung, bei der man eine Untersuchung vorzunehmen hat, ist im Allgemeinen die Regel festzuhalten, dass man sich von dem betreffenden Objecte vorerst bei einer schwachen, je nach Umständen 30- bis 50fachen Vergrösserung, welche ein hinreichend grosses Gesichtsfeld bietet, um ersteres ganz übersehen zu können, einen Totalanblick verschafft und die näher zu durchforschenden Stellen aussucht. Dann erst schreitet man allmälig zu den stärkeren Vergrösserungen fort, mittelst deren die feineren Einzelheiten der Structurverhältnisse zur Anschauung gebracht werden. Man gewinnt durch

dieses Verfahren nicht nur an Sicherheit der Beobachtung, sondern auch an Zeit, weil man bei dem minder beschränkten Gesichtsfelde der schwachen Vergrösserungen leichter den Theil des Objectes herausfindet, der über die in Frage kommenden Structurverhältnisse die gewünschte Auskunft giebt, und nicht erst bei beschränktem Sehfelde, das nur die Uebersicht über einzelne kleine Theile gewährt, lange danach zu suchen braucht. Das Maass der Vergrösserung, welches bei einer bestimmten Beobachtung anzuwenden ist, wird, wie bei der theoretischen Erörterung dargelegt, durch die Beschaffenheit und die linearen Ausmaasse der verschiedenen Structurelemente des Objectes vorgeschrieben und lassen sich darüber keine für jeden einzelnen Fall bestimmte Vorschriften geben. Im Allgemeinen wird man die schwächeren Vergrösserungen überall da anwenden, wo man sich mehr mit dem Studium des Gesammtbaues eines Organes als mit der Structur einzelner Elementarorgane befasst, wo die zu erforschenden Structuren schon geringen oder mässigen numerischen Aperturen zugänglich sind und wo es mehr eine körperliche, als eine flächenhafte Ansicht zu gewinnen gilt, während sich für die feineren hinreichend durchsichtigen und von Natur aus nur flächenhaften oder in sehr dünnen Durchschnitten hergestellten Präparaten angehörende Structuren, die zu ihrer Abbildung eine grössere numerische Apertur in Anspruch nehmen, die stärkeren Vergrösserungen eignen, die ein richtiges und scharfes Bild nur von den nahezu in einer Ebene liegenden Structurverhältnissen gewähren. Massenhaftere, minder durchsichtige Präparate verlangen schwache Vergrösserungen, während zartere, hinreichend durchsichtig hergestellte auch die stärkeren Vergrösserungen vertragen. Aber auch bei solchen Präparaten, bei denen es die feineren Organisationsverhältnisse zu erforschen gilt, mache man es sich zur Regel, ebenso wie bei gröberen Structuren, immer die schwächsten Vergrösserungen anzuwenden, die ausreichend zum Ziele führen, d. h. bei welchen die einer bestimmten numerischen Apertur zugänglichen Structureinzelheiten dem Auge zur vollkommen deutlichen Anschauung gebracht werden und steigere für die eigentliche Beobachtung die Vergrösserung nie über das nöthige Maass. Es ist ein Vorurtheil, zu meinen, dass man im Allgemeinen um so mehr sähe, je stärker man vergrössere. Im Gegentheil; mit den stärkeren Vergrösserungen steigern sich alle auf das Bild übertragenen Fehler des optischen Apparates und es verliert dasselbe an Bestimmtheit und Schärfe. Nur mittelst der besten neueren Systeme von kurzer Brennweite und mit grosser numerischer Apertur kann man, wenn erforderlich, ohne Nachtheil zu sehr starken Vergrösserungen schreiten, welche dann aber auch eine Zartheit der Präparation erfordern, wie sie nur der sehr geübte Beobachter zu erreichen im Stande ist.

Um die gewünschten Vergrösserungen zu erreichen, stehen dem Mikroskopiker zwei Wege zu Gebot. Er kann dieselben entweder mittelst Wechsels der Objectivsysteme erzielen, indem er einem solchen von grösserer Brennweite ein solches von geringerer substituirt, oder er

wendet zu gleichem Zwecke stärkere, das von dem Objectivsysteme entworfene Bild vergrössernde Oculare an. Das in dem ersten Abschnitt bezüglich der förderlichen Angularvergrösserung, sowie der Objectivwirkung und Ocularfunction über die Wirkungsweise dieser beiden Theile des optischen Apparates Gesagte giebt in dieser Beziehung die allgemeine Richtschnur an die Hand. Es geht daraus hervor, dass man überall da, wo man das absolute optische Vermögen des Instrumentes entschieden zu erhöhen wünscht, eine Steigerung der Vergrösserung, so weit dies möglich ist, durch Anwendung stärkerer Objectivsysteme zu erreichen suchen müsse, und erst dann zu stärkeren Ocularen greifen solle, wenn es sich darum handelt, bei gut construirten Trockensystemen von grosser numerischer Apertur und mittlerer Brennweite bis etwa 3 mm, oder bei Wasserimmersionssystemen und Systemen für homogene Immersion bis zu etwa 2 mm Brennweite deren Leistungsfähigkeit vollständig auszunutzen. Wo das Licht bei der Verwendung schwacher oder mittlerer Oculare zu intensiv ist, da helfe man sich lieber durch zweckmässige Abblendung, als dass man zu sehr starken Ocularen greift.

Nun stehen aber solche Reihen von Objectivsystemen, die einen derartigen Wechsel gestatten, eben nicht Jedem zu Gebote, und muss man sich in solchem Falle, wenn bereits die stärkste Objectivvergrösserung erreicht ist und eine noch stärkere Vergrösserung erwünscht oder nothwendig wird, allerdings mit der Anwendung stärkerer Oculare helfen. Der Gebrauch der letzteren ist indessen auch nicht so ganz und unbedingt zu verwerfen, wie dies von mancher Seite geschieht. Wenn Objectivsystemen von etwa 6 bis 2 mm die erforderliche Vollendung gegeben ist, wenn dieselben entsprechend grosse numerische Aperturen besitzen und die Abbildungsfehler in möglichst hohem Grade verbessert sind, dann lässt sich auch durch verstärkte Ocularvergrösserung Manches erreichen und es können noch feinere Einzelheiten aufgehellt werden, die der schwächeren Vergrösserung halber nicht ganz klar hervorgetreten waren. Wo aber die Objectivsysteme nicht die bezeichneten Eigenschaften zeigen, da ist eine Steigerung der Vergrösserung durch das Ocular entschieden zu widerrathen.

Bei der Beleuchtung mittelst auffallenden Lichtes, wobei die Grenzen der Vergrösserungen überhaupt weit enger gezogen sind, als bei der Beleuchtung mittelst durchgehenden Lichtes, lässt sich schon aus dem Grunde, weil Objectivsysteme von geringer Brennweite dem Objecte zu sehr genähert werden müssen, als dass es noch hinreichend kräftig beleuchtet werden könnte, obige Regel nicht durchweg anwenden. Man wird sich hier nicht selten an die Vergrösserung des Bildes mittelst stärkerer Oculare halten müssen. Uebrigens ist hier auch weit weniger für die Schärfe der Beobachtung zu fürchten, weil es sich bei dieser Art von Untersuchungen wohl kaum um sehr schwierig zu erkennende und zu beurtheilende Organisationsverhältnisse handelt.

Fassen wir in kurzen Worten die Regeln zusammen, welche sich aus den voranstehenden Erörterungen für die Verwendung des bilderzeugenden Apparates ergeben, so lauten dieselben: 280

1. Für alle Structuren, deren Ausmaasse grosse Vielfache der Wellenlänge des Lichtes betragen und bei denen es auf die Erkenntniss des Körperlichen ankommt, verwende man Objectivsysteme von langer und mittlerer Brennweite und kleiner oder mässiger Apertur; für alle diejenigen, welche in durchsichtigen, flächenhaften Objecten oder Präparaten vorhanden sind und deren Ausmaasse kleinen Vielfachen oder gar Bruchtheilen dieser Wellenlänge gleichkommen, greife man dagegen zu Objectiven von kurzer Brennweite und grosser numerischer Apertur.

2. Man steigere die Vergrösserung nicht viel weiter, als es das der numerischen Apertur der verwendeten Systeme zugängliche Detail zu seiner deutlichen Sichtbarmachung in objectähnlichem oder typischem Abbild erfordert, und umgekehrt wende man nicht Objectivsysteme mit grösserer numerischer Apertur an, als sie von der unter regelrechten Verhältnissen zur Verfügung stehenden Vergrösserung beansprucht wird.

3. Man suche die zur deutlichen Wahrnehmung einer vorliegenden Structur erforderliche Vergrösserung nicht mit Hülfe des Ocularapparates zu steigern, indem man zur Abbildung derselben schwächere Objective mit abnorm grosser numerischer Apertur verwendet, sondern greife bei schwacher oder mässiger Angularvergrösserung zu Systemen mit kürzerer Brennweite und entsprechender numerischer Apertur.

4. Man verwerfe grundsätzlich alle Objectivsysteme, bei denen die mittelst der niedersten Angularvergrösserung erreichte Gesammtvergrösserung schon diejenige merklich übersteigt, welche von den ihrer numerischen Apertur zugänglichen Structuren erfordert wird.

Wechsel der Einstellung. Die richtige Behandlung der Einstellung ist für die Beurtheilung der feineren Structurverhältnisse von erheblicher Bedeutung, indem es in den meisten Fällen bei einer mikroskopischen Beobachtung nicht ausreichend ist, das betreffende Präparat so einzustellen, dass man von demselben eben nur im Allgemeinen ein deutliches scharfes Bild erhält. In der Regel ist es kaum möglich, einen Schnitt so anzufertigen, dass alle die Structurverhältnisse, welche zu untersuchen sind, sich in einer Fläche vereinigt finden. Nun giebt aber das Mikroskop, in dem Maasse als stärkere Objectivvergrösserungen zur Anwendung kommen, indem die Sehtiefe mehr und mehr abnimmt, mehr und mehr immer nur ein deutliches Bild von dem, was annähernd in einer und derselben Ebene liegt. Man muss sonach den Gegenstand so zu sagen in verschiedenen Tiefen durchsuchen, um sich eine genaue Anschauung seines Baues zu verschaffen. Hierzu aber bietet der geschickte Gebrauch der Einstellung das einzige Mittel, obgleich auch ihr gewisse Grenzen gesteckt sind, die je nach der Form der betreffenden Objecte 281

und der Brennweite des gebrauchten Objectivsystemes mehr oder minder enge werden. Die feine Einstellung, die keinem brauchbaren Mikroskope fehlen darf, ist in den Händen des geübten Beobachters eines der wichtigsten Hülfsmittel, um eine möglichst vielseitige Anschauung des zu untersuchenden Objectes zu gewinnen. Mittelst einer stetigen Anwendung derselben ist es möglich, ähnlich wie wir es mittelst des blossen Auges zu thun gewohnt sind, nach und nach verschiedene Schichten des Präparates zu durchdringen und ihr gegenseitiges Verhältniss zu einander, ihre gegenseitige Verbindung untereinander zu erkennen.

Was bei körperlichen Gegenständen die in verschiedenen Richtungen geführten Durchschnitte oft nicht ganz aufzuhellen vermögen, das wird häufig durch einen geschickten Gebrauch der feinen Einstellung klar. Bei den unregelmässig polyëdrischen Formen der Pflanzenzellen z. B. gelingt es nur durch die Combination der bei wechselnder Einstellung stetig auf einander folgenden Durchschnittsansichten, sich ein deutliches Bild von denselben zu verschaffen, an dessen Construction die combinirende Einbildungskraft den möglichst geringen Antheil hat, das also der Natur am vollkommensten entspricht.

Ganz ähnlich gestaltet sich das Verhältniss, wo es sich z. B. um die Entscheidung handelt, welche von den in verschiedenen Schichten in verschiedenen Formen ausgebildeten Verdickungen vegetabilischer Membranen dem inneren oder äusseren Theile der letzteren angehört. Freilich wird hier eine passende Schnittrichtung auch das ihre thun müssen, aber es bleibt immer noch dem Wechsel der Einstellung ein und das andere zur Aufhellung übrig, und muss dieselbe gerade in diesen Fällen mit der grössten Sorgfalt angewendet werden.

Nicht selten entsteht auch die Frage, welche relative Lage verschiedene Elementarorgane ein und desselben Präparates gegen einander haben, ob das eine über oder unter dem anderen liegt. Hier kann aber in den meisten Fällen nur der geschickte Gebrauch der feinen Einstellung sichere Anhaltspunkte liefern.

282 Von grosser Wichtigkeit wird der Wechsel der Einstellung — wenn erforderlich in Verbindung mit schiefer Beleuchtung — bei der Beobachtung von kleinen hohlen und soliden Fasern, Bläschen, Kügelchen und dergleichen, ebenso von Structureinzelheiten an der Oberfläche wie im Inneren der mikroskopischen Objecte, so lange diese Elemente in ihren Ausmaassen das Maass der Wellenlänge um grössere Vielfache übertreffen.

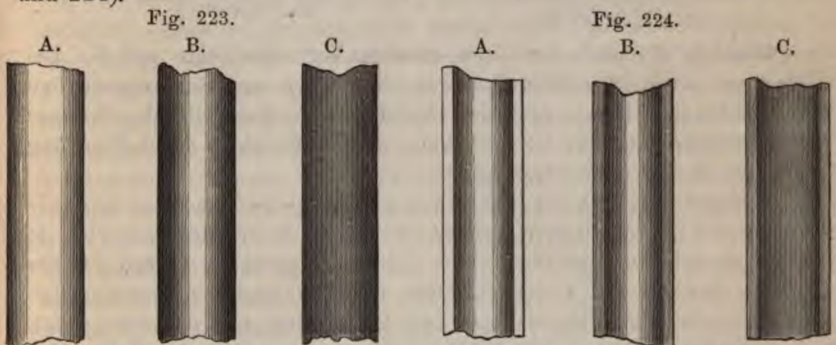
Um die richtige Deutung dieser Objecte und Structurverhältnisse, sowie um Beurtheilung der Reliefverhältnisse überhaupt, hat sich Professor H. Welcker in Halle grosses Verdienst erworben.

Er ging dabei von der Beobachtung aus, dass Luftblasen in Wasser und überhaupt ein jedes von sphärischen Flächen begrenztes dünneres Mittel, welches von einem dichteren eingeschlossen wird, gleich einer

Concavlinse, Oeltröpfchen in Wasser und überhaupt jedes sphärisch begrenzte dichtere, in einem dünneren eingeschlossene Mittel gleich einer Convexlinse wirken, erstere ein Lichtbild der Blendung erzeugen, wenn man unterhalb der Aequatorialzone einstellt, letztere dagegen, wenn man die Einstellebene über diese Zone verlegt.

Die von Professor Welcker gegebene Einstellregel zur Beurtheilung der Reliefverhältnisse lautet: „Zeigt ein Object seinen lebhaftesten Glanz beim Erheben des Tubus, so hat man den Tubus auf den Gipfel einer Erhabenheit ‚hinaufgehoben'; findet sich der Glanz beim Senken des Tubus, so hat man den Tubus in eine Vertiefung ‚hinabgesenkt'."

Solide kugelförmige Körperchen, Fetttröpfchen, Milchkügelchen, Eiterkörperchen und dergleichen lassen sich sofort leicht mittelst dieser Regel von Gas- und Luftbläschen unterscheiden. Bei cylinderähnlichen Körpern bleiben die Verhältnisse wesentlich dieselben, wie bei hohlen Bläschen und soliden Kügelchen, es ändert sich nur das Lichtbild der Blendung in einer der Form des Objectes entsprechenden Weise (Fig. 223 und 224).



Glasfaden. A. bei mittlerer, B. bei hoher, C. bei tiefer Einstellung.

Glascapillare. A. bei mittlerer, B. bei tiefer, C. bei hoher Einstellung.

Für alle derartige Objecte ist es noch von besonderer Wichtigkeit, dass man bei der Beurtheilung der Form auf das Sorgfältigste zu beachten hat, wie das Brechungsverhältniss der organischen Faser und der Zusatzflüssigkeit sich zu einander verhalten, und ehe man sich über ein gegebenes Gestaltverhältniss entscheidet, das betreffende Object in verschiedenen Zusatzflüssigkeiten beobachte.

Wird statt der centralen Beleuchtung schiefes Licht angewendet, so ändert sich in den eben beschriebenen Erscheinungen nichts Wesentliches; es tritt nur eine Verlegung des Lichtbildes ein, und zwar nach der einen oder der anderen Seite, je nachdem der Spiegel nach der rechten oder linken Seite hin aus der Achse gerückt wird. Allgemein wird dasselbe bei Convexlinsen ähnlich wirkenden Objecten nach der der Lichtquelle abgewendeten, bei Concavlinsen ähnlich wirkenden nach der der Lichtquelle zugewendeten Seite des Objectes verlegt, muss also, da das zu-

sammengesetzte Mikroskop umkehrt, auf der dem Spiegel zugewendeten oder abgewendeten Seite des Bildes erscheinen (Fig. 225 u. 226).

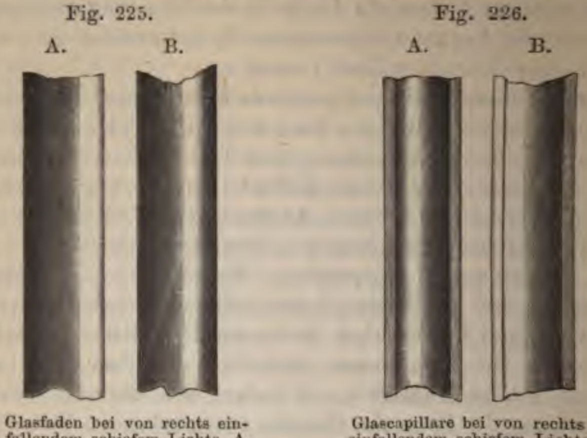


Fig. 225. Glasfaden bei von rechts einfallendem schiefem Lichte. A. bei hoher, B. bei etwas tieferer Einstellung.

Fig. 226. Glascapillare bei von rechts einfallendem schiefem Lichte. A. bei tiefer, B. bei weniger tiefer Einstellung.

Wenden wir das Verhalten unserer Versuchsobjecte auf die Beurtheilung der Reliefverhältnisse der Oberflächen und den inneren Bau von Membranen etc. an, so lassen sich dieselben, wenn die oben hervorgehobene Bedingung für die Ablenkung der Lichtstrahlen durch Brechung erfüllt ist, danach leicht beurtheilen.

Befinden sich sphärisch begrenzte, rinnen- oder schüsselförmige Vertiefungen an der Oberfläche einer Membran etc., so wirken dieselben gleich Concavlinsen und zeigen ihren höchsten Glanz bei dem Senken des Tubus. Treten dagegen kugelige, halbkugelige oder halbcylindrische Erhöhungen auf, so verhalten sich dieselben gleich Convexlinsen und zeigen den höchsten Glanz, wenn man den Tubus von einer mittleren Einstellung aus hebt. Wechseln endlich rinnenförmige Vertiefungen mit halbcylindrischen Erhöhungen, nimmt die eine Oberfläche also wellenförmige Gestalt an, so glänzen erstere beim Senken, letztere beim Heben des Tubus, und während die einen den höchsten Glanz zeigen, liefern die anderen ein verwaschenes, dunkeles oder doch wenig glänzendes Bild. In ganz ähnlicher Weise wirken mit ziemlich scharfen Winkeln aus- und einspringende Oberflächenverschiedenheiten, ebenso nahezu oder ganz geradflächig begrenzte schmale Furchen und Leisten. Etwas anders gestaltet sich das Verhalten, wenn man wellenförmig gebogene Membranen und dergleichen vor sich hat. Da hier beide Biegungen, diejenigen sowohl, welche ihre convexe, als diejenigen, welche ihre concave Seite dem Beobachter zuwenden, gleich Concavlinsen wirken, so zeigen beide ihren höchsten Glanz beim Senken des Tubus, bedingen aber in der Grösse der Senkung die oben bei den halbcylindrischen Röhren hervorgehobenen Unterschiede.

Aehnlich wie cylindrische Erhabenheiten oder Vertiefungen einer Membran verhalten sich stärker und minder stark brechende, d. h. dichtere und weniger dichte Theile eines und desselben Objectes. Um daher zu entscheiden, ob derartige bei Beobachtung unter Wasser in dem mikroskopischen Bilde sich kundgebende Verschiedenheiten eines beliebigen Objectes durch Relief- oder Dichtigkeitsunterschiede bedingt sind, ist es nothwendig, mit den Zusatzflüssigkeiten zu wechseln und namentlich solche, das Untersuchungsobject an lichtbrechendem Vermögen übertreffende Substanzen anzuwenden, durch welche das Bild in ersterem Falle dem angegebenen Verhalten gemäss geändert wird, in letzterem Falle im Wesentlichen ungeändert bleibt.

283 **Gebrauch der Verbesserungseinrichtung.** An den Gebrauch der Einstellung schliesst sich unmittelbar der Gebrauch der Verbesserungseinrichtung an. Dieselbe ist ursprünglich dazu bestimmt, bei den Trockensystemen von kurzer Brennweite und grosser Oeffnung, sowie bei den stärkeren Systemen für Wasserimmersion, den Einfluss des Deckglases auf das Bild zu beseitigen. Sie erlangt aber bei der Beobachtung nicht äusserst dünner — aber durchsichtiger — Objecte noch insofern Wichtigkeit, als jene selbst, sowie die Einschlussflüssigkeit ganz ähnlich wirken wie das Deckglas und die Correctionsschraube die Correction einzelner Zonen der Oeffnung zu dem besonderen Zwecke herstellen muss. Wo es daher gilt, sich „optische" Querschnitte verschieden tief gelegener Schichten eines Präparates vor Augen zu führen, da wird, um deren Bild in möglichster Schärfe zu gewinnen, die Anwendung der Verbesserungseinrichtung nicht unterbleiben dürfen. Mit der Einrichtung selbst haben wir uns schon weiter oben vertraut gemacht, und bleibt daher nur noch zu erörtern, wie man, falls diese nicht — wie bei den entsprechenden Objectivsystemen von Dr. Zeiss — mit einer genau geprüften, also zuverlässigen Scala für die zulässigen Deckglasdicken versehen ist, oder man sich nicht für die 10- oder 50theiligen Scalen, wie sie bei englischen und manchen deutschen Correctionssystemen vorhanden sind, für die Beziehung der Scalentheile auf die sorgfältig bestimmte Deckglasdicke durch vorherige genaue Ermittelungen eine Tafel angefertigt hat, am einfachsten und schnellsten eine möglichst genaue Verbesserung zu erreichen vermag. Es sind zu diesem Ende mancherlei Vorschriften ertheilt worden, allein dieselben laufen alle auf ein Versuchen hinaus, bei welchem man sich daran gewöhnen muss, dass, während die eine Hand die Correctionsschraube bewegt, die andere die feine Einstellung regelt, damit das Object stets im Focus bleibt und man die Schärfe seiner Umrisse etc. immer gradweise verfolgen und richtig beurtheilen kann. Hat man es mit bekannten Objecten zu thun, so wird sich bald die richtige Stellung der beweglichen Linsen gegen einander finden lassen. Bei verwickelteren und zarten, namentlich unbekannten Structurverhältnissen dagegen wird die richtige Correction bedeutend erschwert und in hohem Maasse un-

sicher gemacht, indem dabei dem subjectiven Ermessen in Bezug auf die Beurtheilung des „besten Bildes“ ein bedeutender Spielraum gelassen ist und man ebenso oft zu einer falschen (falsche Bilder liefernden), als zu der richtigen Correction gelangen kann. Daher ist es gerathen, bei schwierigen histologischen Beobachtungen, soweit man es irgend in seiner Gewalt hat, nur Deckgläser von vorher genau bestimmter Dicke zu verwenden und für solche Correctionssysteme, welche einen zuverlässigen, die Deckglasdicken angebenden, Index der Correctionsschraube nicht besitzen, ein- für allemal an einem geeigneten Objecte, wozu sich nur die Contouren der Abbe'schen Probeplatte oder eines ähnlichen Objectes, mittelst deren man das wirklich richtige Zusammenwirken aller Zonen der freien Objectivöffnung beurtheilen kann, eignen, die beste Correction für eine Reihe von diesen Dicken auszumitteln und in einer Tafel zu verzeichnen. Hat man auf diese Weise einmal für bestimmte Deckglasdicken die beste Correction ermittelt, so hat man dann auch die Gewähr dafür, dass man bei Verwendung der entsprechenden Deckgläser auch für alle Objecte von beliebiger Structur richtig gezeichnete Bilder erhält.

Die berührten Schwierigkeiten, welche sich der richtigen Correction entgegenstellen und zu einer höchst sorgfältigen und umsichtigen Behandlung der für Trocken- und Wasserimmersionssysteme ein nothwendiges Uebel bildenden Verbesserungseinrichtung auffordern, liefern auch den Beweis dafür, dass die Beseitigung der letzteren den praktisch wichtigsten Vortheil bildet, welcher durch die homogene Immersion für das wissenschaftliche Arbeiten gewonnen und festzuhalten ist.

III. Die mikroskopische Messung.

Die mikroskopische Messung umfasst nicht allein die Bestimmung der linearen Ausmaasse in der horizontalen, wie in der senkrechten Richtung, also die „Längen- und Dickenmessung“, sondern sie hat auch bei einer Reihe von Untersuchungen die Ermittelung von Winkelgrössen ins Auge zu fassen.

284 **Längenmessung.** Die Längenmessung ist bei der mikroskopischen Beobachtung am frühesten in Anwendung gebracht worden; doch waren die Methoden so lange ziemlich unzureichende, als man nicht mit der gehörigen Genauigkeit ausgeführte und für unser Instrument besonders bestimmte Mikrometer zur Verfügung hatte.

Was die Resultate mikrometrischer Bestimmung linearer Ausmaasse betrifft, so wird man sich in den meisten Fällen der organischen Entwickelungsgeschichte sowohl, als der Beobachtung des Fertigen, ohne

eine absolute Genauigkeit der Grössenangabe fordern zu können, auf Mittel- und Grenzwerthe gewisser gleichartiger Gewebetheile und Elementarorgane beschränken müssen, welche unter einander immer mehr oder weniger an Grösse abweichen. Gerade diese aber gewinnen dadurch einen hohen Werth für die Charakterisirung eines bestimmten ausgebildeten, oder in einem gewissen Entwickelungsstadium sich befindenden Objectes, dass sie bei umsichtiger Ausführung der einzelnen mikrometrischen Beobachtungen dessen Grösse in bestimmte Grenzen einschliessen, welche bei normalem Entwickelungsgange nicht überschritten werden. Aus diesem Grunde ist es denn auch überall da, wo die Grössenbestimmung dieser Grenz- resp. Mittelwerthe unter die charakteristischen Kennzeichen eines Objectes aufzunehmen für nothwendig befunden wird, sowie für alle die Fälle, in denen eine fast absolut genaue Feststellung kleinerer Ausmaasse verlangt werden muss, durchaus erforderlich, dass die Messung mit der grössten Vorsicht vorgenommen und für die höchst mögliche relative und absolute Genauigkeit ihrer Resultate Sorge getragen wird.

Diese Genauigkeit hängt aber von Zweierlei ab, erstlich von der Güte des gebrauchten Mikrometers, dessen Theilung nicht nur möglichst gleichmässig ausgeführt, sondern auch so beschaffen sein muss, dass die einzelnen Intervalle wirklichen Unterabtheilungen irgend eines Normalmaasses entsprechen, und dann von der in Anwendung gebrachten Messungsmethode.

In ersterer Beziehung ist zu beklagen, dass die in Gebrauch befindlichen Mikrometer neuerer Zeit theilweise noch immer mit Fehlern in Bezug auf die absolute Grösse jener Unterabtheilungen des angenommenen Normalmaasses, welche angeblich auf denselben getheilt sind, als auch mit mehr oder minder bedeutenden relativen Theilungsfehlern behaftet erscheinen. Nach der anderen Richtung wird es Sache des Beobachters sein, sich der möglichst zuverlässigen Methode zu bedienen und die grösste Sorgfalt auf die Ausführung der Messung zu verwenden.

Von Messungsmethoden, für welche die Bestimmung des Verhältnisses zwischen den Abmessungen des gemessenen Bildes und denjenigen des Gegenstandes, welches den sogenannten Reductionsfactor liefert, die Grundlage des ganzen Verfahrens bildet, wurden im Laufe der Zeit mancherlei ersonnen und ausgeführt, von denen die eine mehr, die andere minder dem Ziele einer möglichst hohen Genauigkeit und Verlässlichkeit nahe kommt. Genaue Resultate können bei Verwendung des gewöhnlichen optischen Apparates auch unter den gegenwärtigen Verhältnissen, wo doch die optische Vollkommenheit der Mikroskope einen sehr hohen Grad erreicht hat, nur unter bestimmten Bedingungen erzielt werden.

Die praktisch erreichbare Annäherung an die volle Genauigkeit wird nun eine mehr oder weniger grosse, je nach der wirklichen Grösse der zu messenden Objecte. Eine maassgebende Regel über die Grenze, bis zu welcher dieselbe zu gehen habe, lässt sich nicht aufstellen. Im All-

gemeinen dürfte aber für die allerfeinsten Messungen eine Fehlergrenze von $^1/_4$ bis $^1/_{10}$ Proc. diejenige sein, mit der man sich zufrieden geben kann und über die hinauszukommen vorläufig wohl kaum möglich sein dürfte. Ja in den meisten Fällen und namentlich bei sehr kleinen Objecten werden die mikroskopischen Messungen noch weit hinter dieser Grenze zurückbleiben, indem die begangenen Fehler nicht selten bis zu $^1/_2$ und 1 Proc., ja darüber hinaus ansteigen.

Inwieweit die einzelnen mehr oder weniger allgemein angewendeten Messungsmethoden, von denen wir hier nur die mittelst der Glasmikrometer ausführbaren in Betracht ziehen können, im Stande sind, dieses Ziel der Genauigkeit zu erreichen, haben wir im Verlaufe unserer Darstellung zu untersuchen und darzulegen. Dabei wird es sich zeigen, dass eine und die andere wirklich im Stande ist, alles das zu leisten, was man unter den obwaltenden Umständen irgendwie verlangen kann.

Was den Gebrauch der Glasmikrometer betrifft, so ist zunächst zu berücksichtigen, dass es deren zwei Arten giebt, von denen die eine Art als Object gebraucht, die andere ins Ocular eingelegt wird.

285 Objectmikrometer. Das Objectglasmikrometer gewährt den Vortheil, dass man für alle Combinationen von Objectivsystemen und Ocularen in dessen Unterabtheilungen einen ein- für allemal bestimmten Werth besitzt, der keine weitere Umrechnung erforderlich macht.

Die einfachste Art und Weise der Messung mittelst dieses Mikrometers besteht darin, dass man es zum Träger für diejenigen Objecte benutzt, deren Grösse ermittelt werden soll. Da man hierbei die Objecte sowohl als die Theilstriche des Mikrometers zugleich übersieht, so lässt sich leicht abzählen, wie viele ganze Intervalle des letzteren dem zu messenden Gegenstande entsprechen, während etwaige Bruchtheile einer Abtheilung noch ziemlich sicher bis auf $^1/_{10}$ geschätzt werden können.

Reicht diese Messungsmethode auch für manche mikroskopische Objecte von zarter Beschaffenheit recht gut aus und gewährt für diese ziemlich genaue Resultate, indem man je nach Umständen bis auf $^1/_{1000}$ mm genau messen kann, so lässt sie sich doch im Allgemeinen nicht empfehlen.

Weit sichere Resultate als die besprochene Methode liefert die auch viel bequemere Anwendung des Objectglasmikrometers in Verbindung mit der Camera lucida. Im Allgemeinen beruht diese Methode darauf, dass das vergrösserte Bild des Objectes auf einer Fläche projicirt und entweder mittelst eines hierzu besonders angefertigten, oder mittelst eines gewöhnlichen Maassstabes gemessen wird. Dieselbe lässt in der Ausführung mancherlei Modificationen zu.

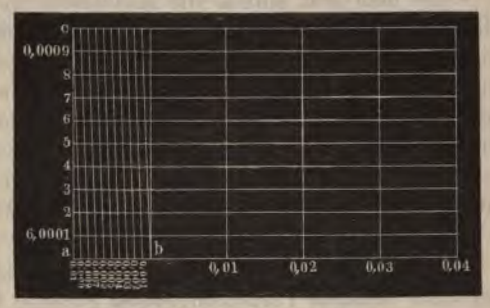
Die eine Verfahrungsweise geht darauf hinaus, dass die Grösse des mittelst der Camera lucida in seinen Umrissen genau nachgezeichneten mikroskopischen Bildes mittelst eines hierzu besonders angefertigten Maassstabes gemessen wird.

Als Projectionsmittel eignet sich unter allen Umständen hierzu am besten ein solches, welches das Bild auf einer horizontalen oder nur wenig geneigten Fläche entwirft, weil nur so Arm und Hand die zur genauen Zeichnung erforderliche Sicherheit und Festigkeit besitzen. Bei der Zeichnung selbst muss man es sich zum Grundsatze machen, stets nur den mittleren Theil des Sehfeldes zu benutzen, um sowohl den Einfluss zu beseitigen, welchen die Verzerrung des Bildes an dem Rande des letzteren auf die Vergrösserung ausüben könnte, als auch immer dieselbe Entfernung festzuhalten, bei der Maassstab und Bild gezeichnet werden.

Die Anfertigung der Maassstäbe, von denen man für die Combination je eines Objectivsystemes mit einem bestimmten Oculare je einen besonderen nöthig hat, vollführt man auf folgende Weise. Bei einem bestimmten Abstande (ich wählte dazu 250 mm), der in der Folge bei der Ausführung von Messungen immer genau festzuhalten ist, entwirft man sich auf einem glatten und ganz ebenen Blättchen Zeichenpapier das Bild eines Theiles der Mikrometerscala und führt danach seinen Maassstab in der Form aus, wie dies bei den bekannten verjüngten Maassstäben üblich ist. Für die

Fig. 227.

0,01 mm = 10 mm (1000 fache Vergr.).



Maassstab für das Objectglasmikrometer.

schwächeren Objectivsysteme kann die Eintheilung des Millimeters in 10 oder 20 Theile zu Grunde gelegt werden, für die mittleren und stärkeren genügt hierzu vollkommen die Theilung von 1 mm in 100 Theile. Im ersteren Falle bilden $^1/_{10}$ oder $^1/_{20}$ mm, im letzteren $^1/_{100}$ mm die Haupteinheiten des Maassstabes. Diese können dann je nach Umständen in 5 bis 10 Unterabtheilungen getheilt werden, von denen die Proportionaltheile wiederum Zehntel angeben. In der Fig. 227 ist ein solcher Maassstab für eine 1000fache Vergrösserung dargestellt. Die Hauptabtheilungen desselben entsprechen 0,01 mm oder 10 μ, die Unterabtheilungen zwischen a und b 0,001 mm oder 0,1 μ, während die Proportionaltheile zwischen a und c 0,0001 mm angeben und durch Einrücken zwischen die Parallellinien nöthigenfalls noch mit voller Sicherheit 0,00005 mm oder 0,05 μ unmittelbar abgegriffen werden kann.

Die Messung ist eine höchst einfache. Es wird nämlich der Durchmesser des in seinen Umrissen sorgfältig mittelst einer feinen Bleistiftlinie umzogenen Bildes zwischen die Spitzen eines genauen — nur zu diesem Zwecke zu gebrauchenden — Zirkels gefasst und dessen Grösse auf dem entsprechenden Maassstabe abgegriffen. Zur Controle sowie zur Erzielung der höchst möglichen Zuverlässigkeit kann man die Messung mittelst anderer Combinationen des optischen Apparates wiederholen und beliebig vervielfältigen.

An Genauigkeit wird diese Methode, wenn der Beobachter in dem Gebrauche der Camera lucida gehörig geübt ist und seine Umrisszeichnung mit voller Sicherheit und Festigkeit der Hand entwirft, wenn ferner die betreffenden Maassstäbe mit Accuratesse ausgeführt sind und die angegebenen Vorsichtsmaassregeln streng beachtet werden, soweit meine Erfahrungen reichen, von keiner der übrigen Messungsmethoden merklich übertroffen. Um dieselbe noch weiter zu treiben und namentlich die Bruchtheile der Hauptabtheilungen des Maassstabes mit grösserer Sicherheit zu bestimmen, kann man auf einem fünf- bis zehnfach vergrösserten Maassstabe den mittelst eines Doppelzirkels oder auf eine andere Weise in gleichem Verhältnisse vergrösserten Durchmesser des mikroskopischen Bildes abgreifen. Auch an Bequemlichkeit und Raschheit der Ausführung steht dieselbe, wenn man erst einmal die Maassstäbe in Ordnung hat, keiner der gleich zuverlässigen Messungsweisen nach, da man mit Leichtigkeit sofort die wahre Grösse des Objectes abzulesen und niederzuschreiben im Stande ist. Ein weiterer wohl zu beachtender Vorzug liegt darin, dass man mit Ausnahme der etwaigen Ausgabe für einen feinen Stangen- oder Doppelzirkel und eventuell für die Maassstäbe keine weitere Kosten aufzuwenden hat, da sich die Camera lucida ja ohnehin in den Händen des Mikroskopikers befinden muss, wenn er seine Zeichnungen in der wahren Bildgrösse ausführen will.

Will man sich die Mühe ersparen, mehrere Maassstäbe anzufertigen, so muss man zu einer anderen Verfahrungsweise greifen, bei der es nur eines einzigen Maassstabes bedarf. In Bezug auf das demselben zu Grunde zu legende Normalmaass hat man natürlich volle Freiheit. Da aber einmal das metrische Maass bei wissenschaftlichen Grössenbestimmungen sich fast überall Eingang verschafft hat, so verwendet man am geeignetsten einen solchen Maassstab, bei welchem die Hauptabtheilungen Centimeter, die nächsten Unterabtheilungen Millimeter und die Proportionaltheile $^1/_{10}$ mm angeben. Hier hat man aber in dem abgegriffenen Maasse noch nicht die wirkliche Grösse des Objectes, sondern es muss diese durch Division mit der betreffenden genauen Vergrösserungszahl in jenes ermittelt werden. Dass man sich auch in diesem Falle des oben erwähnten Doppelzirkels bedienen kann, liegt auf der Hand. Harting empfiehlt einen sogenannten Schieberzirkel, auf welchem man mittelst eines angebrachten Nonius noch $^1/_{50}$ des Millimeters ablesen kann. Ich kenne denselben nicht aus eigener Erfahrung, es erscheint mir derselbe

aber jedenfalls empfehlenswerth. Neben den oben angegebenen Vorsichtsmaassregeln hat man bei diesem Messungsverfahren besonders darauf zu achten, dass die Vergrösserungsziffern auf das genaueste bestimmt werden, weil ein verhältnissmässig geringer Fehler in denselben das Resultat ändern würde. Hätte man z. B. auf dem Maassstabe 33 mm abgegriffen, so würde sich bei einer zu 700 bestimmten Vergrösserung der Durchmesser des Objectes = 0,0471 mm ergeben, während derselbe, wenn die Vergrösserung in der That = 715 wäre, = 0,0461 mm sein würde, was eine Differenz von 0,001 mm ergäbe, welche etwa $^1/_{50}$ des Objectes gleich käme, also weit grösser wäre als der wahrscheinliche Fehler der Messung.

286 Ocularmikrometer. Eine bequeme, zuverlässige Resultate liefernde Messungsmethode gewährt die Anwendung des Ocularglasmikrometers, welches bei dem Huyghens'schen Oculare zwischen Collectiv- und Ocularlinse, also innerhalb des Oculares, bei dem Ramsden'schen dagegen vor der Vorderlinse, derart angebracht wird, dass man dessen Theilung und das objective Bild des Gegenstandes zugleich und mit gleicher Schärfe erblickt. In Betreff der losen, nicht in einem besonderen Oculare befestigten Scalen habe ich darauf aufmerksam zu machen, dass das Mikrometer stets so in das letztere eingelegt werden muss, dass dessen Theilung dem Objectivsysteme zugekehrt ist. Bei umgekehrter Lage würde erstlich durch Reflexion an der hinteren Oberfläche der Glasplatte eine Verdoppelung der Theilstriche bewirkt werden und zweitens die von dem Bilde ausgehenden Lichtstrahlen wegen der zwischengeschobenen Glasmasse eine andere Brechung erleiden, als die von der Theilung ins Auge gelangenden, welche Umstände auf die Genauigkeit des Resultates nicht ohne störenden Einfluss bleiben könnten.

Ehe man zu der eigentlichen Messung schreitet, muss der Werth der Abtheilungen des Mikrometers, die hier nicht wie bei dem Objectmikrometer genau den Unterabtheilungen der Maasseinheit entsprechen müssen — es ist einerlei, ob die einzelnen unter sich gleichen Intervalle z. B. genau $^1/_{10}$ oder $^1/_{20}$ mm vorstellen, oder ob sie etwas grösser oder kleiner sind — für die verschiedenen Objectivsysteme bestimmt werden. Zu diesem Zwecke benutzt man ein zweites Glasmikrometer als Object und zählt die Abtheilungen des Ocularmikrometers, welche einer vollen Anzahl von Abtheilungen des ersteren entsprechen. Eine kleine Rechnung ergiebt dann den wahren Werth je einer Abtheilung des Ocularmikrometers. Hätte man z. B. beobachtet, dass 14 Intervalle des letzteren genau 5 Abtheilungen des Objectglasmikrometers decken, von denen jede = 0,01 mm oder 10 μ ist, so würde eine Abtheilung des ersteren 3,57 μ gleichkommen. Hat man indessen die Vergrösserungen seines Mikroskopes mit der grössten Sorgfalt und Genauigkeit bestimmt, so braucht man nur für ein Objectivsystem den Werth einer Abtheilung des Ocularmikrometers zu bestimmen und kann die Werthe für die übrigen Objectivsysteme durch Rechnung finden. Es verhalten sich nämlich diese

Werthe umgekehrt, wie die entsprechenden Vergrösserungsziffern. Würde z. B. die Vergrösserung eines zweiten Objectivsystemes 2,5 mal so gross sein als diejenige, bei welcher obiger Werth bestimmt wurde, so müsste der entsprechende Werth einer Abtheilung des Ocularmikrometers $\frac{3,57}{2,5}$, d. i. 1,43 μ (genau 1,428 μ) gleichkommen. Jedenfalls wird es gut sein, wenn man beide Bestimmungsweisen zur gegenseitigen Controle benutzt.

Zur Erleichterung späterer Umrechnung der Scalentheile des Ocularmikrometers in den wahren Werth, fertigt man sich ein Täfelchen an, in welches für jedes Objectivsystem die Werthe von 1 bis 10 Intervallen eingetragen werden. In vielen Fällen hat man dann dieselben bloss auszuschreiben, in anderen reicht man mit einer einfachen Addition oder Multiplication aus.

Hat man aus einer grösseren Anzahl von Messungen den Mittelwerth zu bestimmen, so bedarf es nicht für jede einzelne Messung einer Umrechnung, sondern man kann aus den gefundenen Scalentheilen den Mittelwerth nehmen und bloss diesen in den wahren Werth umrechnen, wodurch an Zeit und Mühe gespart wird, ohne dass das Hauptresultat auch nur im mindesten leidet.

Hier und da finden sich die Werthe der Scalentheile von den Optikern in der ihren Instrumenten beigegebenen Vergrösserungstafel angegeben. Man darf sich indessen nicht hierauf verlassen, sondern muss, wenn man für die Genauigkeit seiner Messungen einstehen will, deren Bestimmung selbst vornehmen.

Die Messung mittelst des Ocularmikrometers ist höchst einfach. Man zählt eben nur die Anzahl der Intervalle der Scala, welche das bei scharfer Einstellung erhaltene Bild des zu messenden Gegenstandes decken, und entnimmt dann aus seinem Täfelchen dessen wahre Grösse. Wo das Bild des Objectes nicht von einer ganzen Anzahl von Intervallen gedeckt wird, ist der betreffende Bruchtheil zu schätzen, was sich, wenn man erst einmal die erforderliche Uebung erlangt hat, leicht bis auf $^1/_5$, ja auf $^1/_{10}$ hinreichend sicher ausführen lässt.

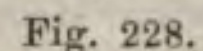
Die Hauptvorsichtsmaassregeln, welche man bei dieser Messungsmethode nie ausser acht lassen darf, bestehen darin, dass man das Object auf das Schärfste einstellt, nur den mittleren Theil des Sehfeldes zur Messung verwendet und bei der Abzählung der Intervalle immer von den gleichliegenden Rändern der Theilstriche ausgeht, von denen man den einen mit dem einen Rande des Bildes genau in Berührung gebracht hat.

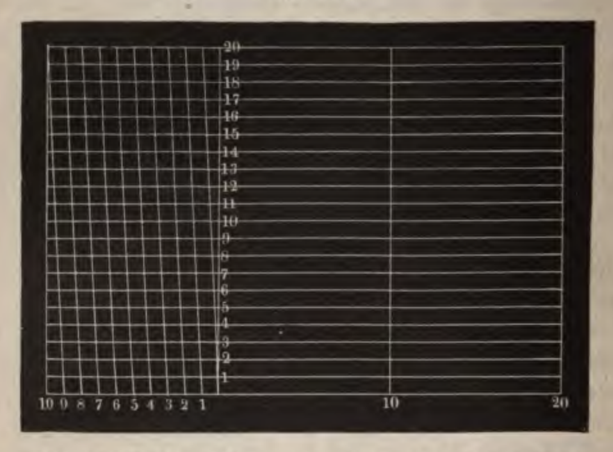
Was die Genauigkeit betrifft, so kommt der in Rede stehenden Methode, welche bei geeignet geregelter Beleuchtung von der Eingangs besprochenen Fehlerquelle kaum beeinflusst wird, auch noch der Umstand zu Gute, dass man zur Ausführung schon sehr feiner Messungen viel gröbere Theilungen verwenden kann, als wenn man von dem Glasmikrometer als Object Gebrauch macht. Diese bieten aber einer gleichmässigen Ausführung von Seiten des Mechanikers weit weniger Schwierigkeiten

dar, als die feineren. Man wird bei dem Ocularmikrometer, wenn dasselbe aus einer der besseren Werkstätten hervorgegangen ist, daher auch in Bezug auf die Gleichförmigkeit der einzelnen Abtheilungen weit geringeren Differenzen begegnen, als bei dem Objectglasmikrometer. Ich habe in der neuesten Zeit Gelegenheit gehabt, mehrere solcher Mikrometer aus verschiedenen Werkstätten zu prüfen, welche wirklich eine befriedigende Uebereinstimmung in der Grösse der einzelnen Intervalle zeigten. Selbst die grösste Differenz, welche ich bei nur einem dieser Mikrometer beobachtete, ging nicht über $^1/_{12}$ einer Abtheilung hinaus, während dieselbe bei anderen bis auf $^1/_{30}$ und weniger sank. Setzt man aber auch den Fall, dass man sich eines Mikrometers bediene, welches selbst Differenzen bis zu $^1/_{10}$ einer Abtheilung zeigte, so würden diese (vorausgesetzt, dass man sich keine Correctionstafel angefertigt habe) auf die Messung doch kaum in merklicher Weise influiren. Nimmt man z. B. an, eine Abtheilung des Mikrometers entspreche 4 μ und die Differenz zwischen zwei aufeinander folgenden Intervallen betrage $^1/_{10}$, so würde der Werth des einen entweder um 0,4 μ zu gross oder zu klein ausfallen, ein Fehler, der für manche Messungen sogar ganz ausser Betracht bleiben kann. Auch durch die Schätzung der Bruchtheile eines Intervalles, welche nie mit so voller Sicherheit geschehen kann, dass man sich nicht um irgend einen sehr kleinen Bruchtheil irrt, wird die Genauigkeit der Messungen mittelst des Ocularglasmikrometers weit weniger beeinträchtigt, als man von mancher Seite anzunehmen geneigt ist. Sollte man z. B. einen Bruchtheil, der in der That $^1/_8$ beträgt, für $^1/_{10}$ schätzen, so würde, der Werth eines Intervalles = 2 μ gesetzt, $^1/_{10}$ desselben = 0,2 μ, $^1/_8$ aber = 0,25 μ sein und der begangene Fehler höchstens 0,05 μ betragen. Ja wenn man selbst $^1/_4$ eines Intervalles für $^1/_5$ einschätzte, so würde unter obigen Voraussetzungen der begangene Fehler 0,1 μ nicht übersteigen. Dies letztere ist aber, wenn man eben nur einige Uebung besitzt, die äusserste Grenze, bis zu der man bei der Schätzung der Bruchtheile irren kann. Dieselbe fällt übrigens um so genauer aus, je stärker das Ocular ist, in welches man das Mikrometer einlegt. Die Schärfe der Umrisse des mikroskopischen Bildes leidet dadurch bei den besseren Objectivsystemen keineswegs in so bedeutender Weise, dass das Resultat dadurch wesentlich beeinflusst würde.

Es kann übrigens die Schätzung von Bruchtheilen der Scala ganz umgangen werden, wenn man das Ocularglasmikrometer in Verbindung mit der Camera lucida gebraucht. Zu dem Ende legt man die mittelst der letzteren entworfene Scala einem Maassstabe (Fig. 228 a. f. S.) zu Grunde, auf dem mit Hilfe der Proportionaltheile $^1/_{10}$ bis $^1/_{20}$ der Intervalle abgelesen werden können, und greift auf diesem mittelst des Zirkels die Ganzen und Bruchtheile der letzteren ab, welche dem nachgezeichneten Bilde des Gegenstandes entsprechen. Um aber den einmal angefertigten Maassstab bei allen Objectivsystemen benutzen zu können, muss man sich eine kleine Correctionstafel anfertigen, welche diejenigen

Zahlen enthält, womit die Zahl der abgegriffenen Scalentheile zu multipliciren ist, um die wahre Zahl derselben zu erhalten. Da nämlich durch den Focalabstand der Objectivsysteme einerseits, durch die Länge der Fassung andererseits, der Abstand sich etwas ändert, bei welchem das mikroskopische Bild auf die Zeichenfläche entworfen wird, so fällt dies je nach dem angewendeten Objectivsysteme entweder kleiner oder grösser aus, als es für dasjenige Objectivsystem der Fall ist, bei welchem die Scala entworfen wurde. Zur Auffindung der Correctionszahlen verfährt man in folgender Weise. Nachdem der Maassstab angefertigt worden, zeichnet man bei den verschiedenen Objectivsystemen eine Gruppe von 10 bis 20 Intervallen der Mikrometerscala mittelst der Camera lucida, fasst diese zwischen die Zirkelspitzen und greift deren Grösse auf dem Maassstabe ab. Die Division der gezeichneten Anzahl von Intervallen


Fig. 228.



Maassstab um $^1/_{20}$ der Intervalle des Ocularmikrometers abzulesen.
(Mikrometer im Ocular 4 von Zeiss.)

durch den abgegriffenen Werth ergiebt die Correctionszahl. Ich habe z. B. meine Scala bei System 7 von Hartnack entworfen und danach den Maassstab angefertigt; 10 Intervalle bei System 5 nachgezeichnet, entsprechen nun aber 10,24 Theilen des Maassstabes, mithin ist die Correctionszahl = 10 : 10,24 = 0,975 nahezu. Hätte man demnach bei System 5 einen Gegenstand gezeichnet, mittelst des Zirkels gemessen und dessen Durchmesser = 5,16 Intervallen gefunden, so würde die wahre Anzahl der letzteren = 5,16 × 0,975 = 5,04 sein.

Die einzelne auf diese Weise unter Anwendung sämmtlicher Correctionen vollzogene Messung verlangt allerdings einen nicht geringen Zeitaufwand, aber die Anfertigung kleiner Tafeln, von denen man ohne weitere Umstände die betreffenden Werthe abzulesen im Stande ist, hilft über diesen Uebelstand hinaus. Jedenfalls ist derselbe nicht bedeu-

tender als bei den übrigen genaueren Messungsmethoden, welche man mit Anwendung von Correctionen ausführt. Dafür ist die Genauigkeit und Verlässlichkeit der Messung eine solche, dass sie kaum von einer der anderen Methoden übertroffen werden dürfte.

Die Messung mittelst des Ocularglasmikrometers überhaupt gewährt bei geeigneten Objecten, wie isolirten Fasern, Zellen, Blutzellen, Fettkügelchen, Zellkernen und dergleichen, nach meinen Erfahrungen eine Genauigkeit, welche derjenigen durch irgend eine der anderen besseren Messungsmethoden erreichten kaum in irgend erheblichem Grade nachsteht. Von einzelnen Beobachtern ist dieselbe unterschätzt worden. Freilich giebt es Fälle, in denen man mit derselben nicht zum Ziele kommt. Dies gilt namentlich dann, wenn das mikroskopische Bild etwas complicirt ist, indem darin viele durcheinander liegende Objecte vorkommen, oder wenn das Präparat nicht die nöthige Durchsichtigkeit besitzt. Dann fällt es nämlich schwer, die Theilstriche der Scala mit der erforderlichen Schärfe und Klarheit über dem betreffenden Objecte zu sehen und eine genaue Einstellung derselben auf den Rand des letzteren zu bewirken. Von dem Versuche, die Mikrometerscala mit einer färbenden Substanz einzureiben, um die Theilstriche leichter sehen zu können, muss ich entschieden abrathen, da man dadurch in jedem Falle dem Apparate mehr schadet, als man der Messung nützt.

Die zuletzt hervorgehobenen Uebelstände fallen natürlich weg, wenn man das mikroskopische Bild mittelst der Camera lucida zeichnet und die Anzahl der ihm entsprechenden Scalentheile mittelst des Zirkels in der früher erwähnten Weise abgreift.

Dickenmessung. Die Dickenmessung, welche in der einfachsten und für unsere Zwecke vollständig ausreichenden Weise mittelst einer an dem Schraubenkopfe der feinen Einstellschraube angebrachten Kreistheilung ausgeführt werden kann, ist, wie es scheint, erst in unserm Jahrhundert unter die mikroskopischen Untersuchungsmethoden aufgenommen worden. 287

Bei dieser Art der Bestimmung der Tiefenabmessungen, welche ich für unsere Zwecke für vollständig ausreichend erachte, kommen ausser den in dem Apparate selbst liegenden Fehlerquellen noch einige andere in Betracht, welche bei Ermittelung der Längenabmessung nicht vorhanden sind.

Zunächst geht aus den theoretischen Betrachtungen über die Sehtiefe hervor, dass bei diesen Messungen die Einstellung auf die in verschiedener Tiefe gelegenen Punkte niemals mit der Genauigkeit geschehen kann, wie auf die in horizontalen Ebenen gelegenen Grenzlinien und dass diese Unsicherheit bei schwächeren Vergrösserungen stärker hervortreten muss, wie bei stärkeren. Dazu kommt noch, dass mit wenigen Ausnahmen in Folge der körperlichen Beschaffenheit der Objecte genaue Anzeichen für die Lage der oberen und unteren Grenze der zu ermitteln-

den Tiefenabmessung nicht mit der Sicherheit zur Auffassung gelangen, wie sie für eine genaue Messung erforderlich wird.

Um einige Anhaltspunkte in dieser Beziehung zu geben, mögen hier ein paar mit einem Zeiss'schen Stative Nr. 1 an einem für möglichst genaue Messung geeigneten Objecte, d. h. an einer auf der unteren Seite eines 0,08 mm (80 μ) dicken, auf der oberen, freien Fläche mit einem feinen Diamantstrich (auf dessen äussere Grenzlinie eingestellt wurde) versehenen Deckglase ausgeführten Silberschichttheilung (Abbe'sche Probetafel) ausgeführte Probemessungen Platz finden. Dabei sei zugleich erwähnt, dass ein Umgang der Mikrometerschraube 475 μ angiebt, also an der 100theiligen Kreisplatte 4,75 μ abgelesen und noch recht gut $^1/_{10}$ Abtheilung, also etwa 0,5 μ geschätzt werden können.

Bei fünf Messungen betrug die grösste Abweichung vom Mittel der Einstellungen

bei	100 facher Vergrösserung	. . .	0,6	Abtheilungen
„	240 „ „	. . .	0,5	„
„	600 „ „	. . .	0,4	„
„	1400 „ „	. . .	0,3	„

also vom Mittel der gemessenen Höhendifferenz = 0,075 mm (75 μ) je 2,8 μ, 2,4 μ, 1,9 μ und 1,4 μ und damit etwa 3,8, 3,3, 2,5 und 1,8 Procent.

Die Messung geschieht, nachdem man die Werthe der Schraubenhöhe und der einzelnen Abtheilungen des Theilkreises festgestellt hat, am besten so, dass man den Focus mittelst der groben Einstellung etwas über die obere Fläche des betreffenden Objectes hebt, dann auf diese und von ihr aus auf die untere herab, oder dass man von einer tieferen Stellung aus, und successive nach der unteren und oberen Grenzfläche übergeht.

Der aus dem Unterschiede der beiden abgelesenen Einstellungen berechnete Werth ergiebt indessen gemäss des Lichtbrechungsgesetzes die wahre Tiefenabmessung oder Niveaudifferenz nur für den Fall, als die beiden zum Zwecke der Messung anvisirten Ebenen oder Punkte innerhalb desselben Mediums liegen, welches sich vor dem Objectivsystem befindet. Ist dies nicht der Fall und befindet sich das Object in einem Medium = n, während das Objectivsystem in ein Medium = n^* taucht, so muss der durch die Messung direct gefundene Werth, um den wahren Werth der Tiefenabmessung zu ergeben, noch mit dem Quotienten aus den Brechungsindices des ersten und zweiten Mediums nämlich mit $\frac{n}{n^*}$ multiplicirt werden.

So erfordert z. B. die Einstellung auf die Bodenfläche des oben gedachten Deckglases von nominell 0,08 mm Dicke mit einem Trockensystem beobachtet, eine Drehung der Scheibe um 11,2, mit Wasserimmersion um etwa 15, mit homogener Immersion (es wurde in letzteren Fällen ein zweites sehr dünnes Deckglas mittelst Wassers mit dem zu

messenden verbunden) um 17 Abtheilungen des Theilkreises und es berechnet sich daraus die direct gemessene Dicke zu je 0,053, 0,071 und 0,080 mm, die wahre Dicke dagegen (den Brechungsindex des Crownglases zu 1,5 angenommen) zu je

$$0{,}053\ .\ 1{,}5\left(\frac{1}{n}\right) = 0{,}079,\quad 0{,}071 \cdot \frac{1{,}5}{1{,}33}\left(\frac{n}{n^*}\right) = 0{,}080$$

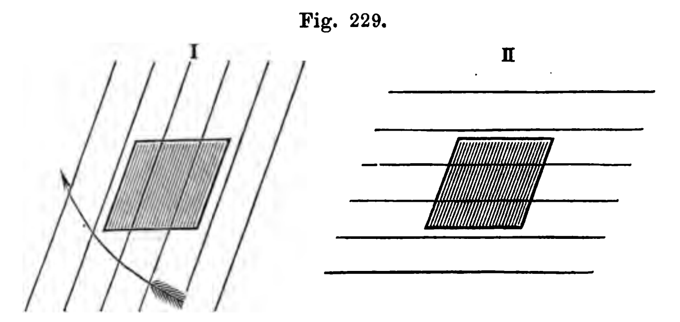
und

$$0{,}080\ .\ 1 = 0{,}080\,\text{mm}.$$

Winkelmessung. Die unmittelbare Messung der Winkelgrösse kann nur für den Fall mit voller Genauigkeit ausgeführt werden, dass die Schenkel des betreffenden Winkels in einer horizontalen, d. h. zur optischen Achse des Mikroskopes senkrechten, für die ihn bildenden Krystallflächen dagegen in einer mit ihr parallelen Ebene liegen. Nun wird in der Regel in Bezug auf die uns hier zunächst interessirenden Objecte, d. h. auf die mikroskopischen Krystalle, bei denen man die Neigung zweier zusammenstossenden Flächen kennen lernen will, jene Bedingung erfüllt sein. Da bei denselben nämlich, sofern sie regelmässig ausgebildet sind, jede Fläche einer ihr parallel gegenüberstehenden entspricht, so wird, wenn der zu messende Krystall auf einer seiner Flächen liegt und die Tischebene, wie die Ebene des Objectträgers als vollkommen horizontal betrachtet werden können, die dem Beobachter zugekehrte, die optische Achse unter rechtem Winkel schneiden, was noch dadurch controlirt werden kann, dass alle Winkelscheitel derselben bei gleicher Einstellung gleich scharf gesehen werden können. Eine geringe Neigung würde indessen irgend in Betracht kommende Fehler nicht mit sich bringen, während allerdings eine stärkere, aber dann auch leicht erkennbare solche bis zu mehreren Graden herbeiführen könnte. 288

Bezüglich der Winkelmessung mittelst des auf Seite 288 beschriebenen Goniometeroculares bleibt hier nur zu erwähnen, dass man, um die

Fig. 229.



Winkelgrösse unmittelbar zu haben, aus der Stellung des Liniensystemes der Figur 229 I. durch Drehung in der Richtung des Pfeiles in diejenige der Figur 229 II. überzugehen hat, da man anders das Supplement erhält.

Neben den Ocularгoniometern kann natürlich auch die Winkelmessung mittelst des drehbaren und mit Kreistheilung versehenen Objecttisches vorgenommen werden, wenn die früher beschriebenen Centrirungsvorrichtungen an dem Mikroskope vorhanden sind.

Eine der Messung mittelst der Goniometer oder des drehbaren Objecttisches an Genauigkeit wenig nachstehende und ziemlich allgemein für mikroskopische Zwecke anwendbare Messung der Winkelgrösse kann auch mittelst der Camera lucida vorgenommen werden. Man bezeichnet zu dem Ende in dem zur Seite des Mikroskopes projicirten Sehfelde den Scheitel, sowie die Endpunkte der beiden Schenkel des zu messenden Winkels mit feinen Punkten, verzeichnet an der Hand dieser Daten letzteren selbst und bestimmt dessen Grösse mit Hilfe eines genauen Transporteurs.

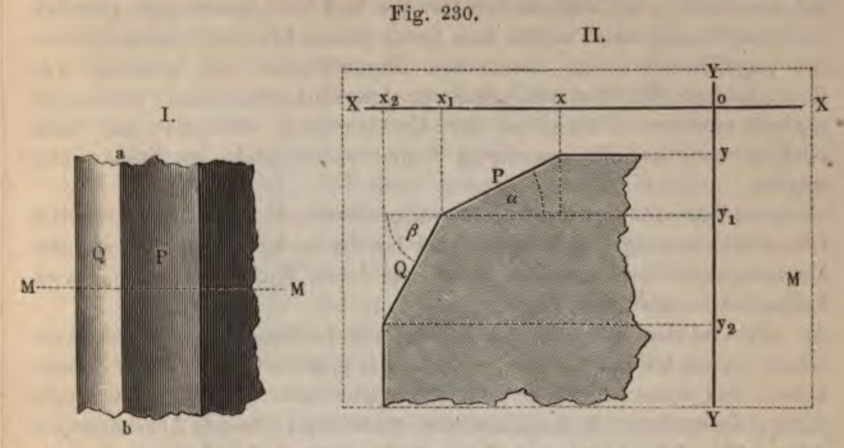
Da in einer bestimmten Lage nur eine bestimmte Anzahl von Winkeln der Messung zugänglich ist, so muss bei den beiden beschriebenen Messungsweisen das betreffende Krystallindividuum, um die noch weiter zu der krystallographischen Bestimmung erforderliche Winkelzahl zu liefern, durch entsprechende Manipulationen auf dem Objecttisch in die erforderlichen Lagen gebracht, oder es müssen die einzelnen Winkelbestimmungen an verschiedenen in verschiedenen Lagen in dem Präparate vorhandenen, passenden und gut ausgebildeten Exemplaren vorgenommen und dann die so erhaltenen Daten mit einander verknüpft werden.

Da aber auch dieses Verfahren nicht immer zum Ziele führt, so wird man sich häufig zu einer mittelbaren, mittelst constructiven Verfahrens oder mittelst trigonometrischer oder analytischer Berechnung auszuführenden Bestimmung der unbekannten, nicht direct messbaren Winkelgrössen aus bekannten Bestimmungsstücken wenden müssen.

Die nur für grössere Krystalle anwendbare constructive und trigonometrische mit Hülfe des Focimeters auszuführende Bestimmung des Winkelmaasses unterliegt gleichfalls der Beschränkung, dass die betreffenden Krystallkanten zur optischen Achse senkrecht, d. h. in horizontaler Ebene liegen, während die betreffenden Flächen eine in der andern — auf der Kante senkrechten — Richtung beliebige Neigung gegen jene haben können. Das Verfahren besteht darin, dass man durch einen bestimmten Punkt der betreffenden Krystallkante eine zu ihr senkrechte Schnittebene gelegt, in dieser in einem beliebigen Punkte zwei rechtwinklige Coordinatenachsen errichtet denkt und nun von dem O-Punkte dieser aus sowohl die Horizontalcoordinaten, wie die Tiefenabmessungen für die Schnittpunkte der Coordinatenebene mit den betreffenden Krystallkanten bestimmt. Nehmen wir z. B. an, es sei (Fig. 230 I.) ein Theil eines säulenförmigen Krystalles (etwa einer Combination zweier sechsseitigen Säulen) gegeben und es solle bei horizontalen Lagen der betreffenden Kante ab der Neigungswinkel der beiden Flächen P und Q bestimmt werden, welche seitlich beliebig geneigt wären, so ver-

fahren wir folgendermaassen: Wir denken uns durch ab die Schnittebene MM (Fig. 230 I. und II.) gelegt, nehmen in derselben die beiden Coordinatenachsen X und Y an und bestimmen nun mikrometrisch Ox,

Fig. 230.



Ox_1 Ox_2 und Oy Oy_1 Oy_2, so können wir entweder auf diese Daten hin das Maass des Flächenwinkels P, ab, Q construiren und mittelst des Transporteurs messen, oder auch mittelst trigonometrischer Rechnung bestimmen. Wir würden nämlich haben

$$tg\,\alpha = \frac{y_1 - y}{x_1 - x}$$

$$tg\,\beta = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

und

$$\angle P ab\, Q = \alpha + (180^0 - \beta).$$

Bei Feststellung der Ordinaten verfährt man am besten so, dass man über die Einstellungsebene der höchstgelegenen Kante bis zum Einstehen des Nullpunktes der Kreistheilung an der Focimeterscheibe, hinaus- und dann von hier aus auf die einzelnen Kantenhöhen hinabgeht.

IV. Die Anwendung des polarisirten Lichtes.

Brewster wendete schon im Jahre 1816 die Beobachtungsweise mittelst polarisirten Lichtes auf organische Körper an; aber erst nachdem Talbot im Jahre 1835 das zusammengesetzte Mikroskop mit einem polarisirenden Apparate verbunden hatte, wurde dieselbe für die organische Gewebelehre fruchtbarer. Seit dieser Zeit haben sich denn auch einzelne Forscher eingehender mit der Untersuchung thierischer sowohl als pflanzlicher Gewebe unter Anwendung dieser Beleuchtungsweise beschäftigt; 289

allein erst in der neuesten Zeit ist deren Wichtigkeit vollkommen erkannt worden.

Die Vortheile, welche die Beleuchtung mittelst polarisirten Lichtes für das Studium der organischen Gewebe und Elementarorgane gewährt, bestehen vorzugsweise darin, dass unter dessen Einfluss Unterschiede in der physikalischen und chemischen Beschaffenheit der letzteren und damit feinere Structurverhältnisse zur Anschauung kommen, welche wir mittelst anderer Hülfsmittel der Untersuchung entweder gar nicht oder in weit unvollkommenerem Grade auszumitteln im Stande sein würden.

Die Vorrichtungen, welche für unsere Beobachtungen in polarisirtem Lichte Anwendung finden, haben wir bereits in dem vorigen Abschnitte kennen gelernt und bleibt in Bezug auf deren Wirkungsweise nur noch Folgendes zu erwähnen.

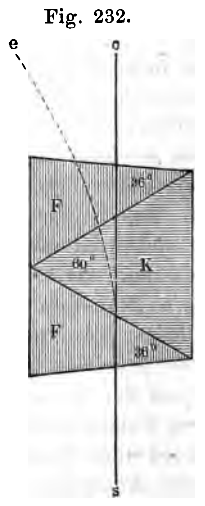
Benutzt man ein gewöhnliches doppelt brechendes Prisma als Analysator, so erhält man zwei entgegengesetzt polarisirte je von den ordentlichen und ausserordentlichen (siehe weiter unten) Strahlen erzeugte Bilder. Da nun unter diesen Umständen mancherlei störende Anschauungen während der Beobachtung mit unterlaufen, so muss man Sorge tragen, eines dieser Bilder, d. h. die dasselbe hervorbringenden Strahlen zu entfernen. Nicol hat zu diesem Zwecke in sinnreicher Weise die — auch bei den Prazmowsky'schen Prismen angewendete — gänzliche Zurückwerfung für Canadabalsam, Leinöl etc., und Kalkspath benutzt, um den ordentlichen Strahl zu entfernen und nur dem ausserordentlichen den Durchgang durch das Prisma zu gestatten.

Fig. 231.

Fällt nämlich ein Strahl gewöhnlichen Lichtes nq auf die untere Endfläche des in Fig. 231 im Durchschnitte dargestellten aus zwei in entsprechender Weise aus einem Kalkspathrhomboëder geschnittenen, mittelst Canadabalsams verkitteten Stücken gebildeten Prismas, so wird er vermöge der Doppelbrechung in zwei Strahlen gespalten. Der ordentliche Strahl geht in der Richtung nqz, der ausserordentliche in der Richtung nqp dahin. Ersterer trifft die dünne Schicht gf des Canadabalsams in einem solchen Winkel, dass er eine vollständige Zurückwerfung nach zs erleidet und an der geschwärzten Seitenfläche df verschluckt wird. Der ausserordentliche Strahl dagegen geht durch das Prisma hindurch und tritt an der oberen Endfläche parallel mit seiner ursprünglichen Richtung aus, indem er senkrecht auf den Hauptschnitt des Prismas polarisirt erscheint. Die Beseitigung des ausserordentlichen Strahles mittelst Ablenkung wurde in neuerer Zeit und zuerst von Prof. Abbe bei dessen Analysatorocular (Seite 275), welches das ganze Sehfeld des

Mikroskopes mit voller Bildschärfe überblicken lässt, mit ausgezeichnetem Erfolge durchgeführt. In diesem sind nämlich mit dem Kalkspathprisma *K* (Fig. 232) zwei symmetrisch, oben und unten, angekittete Prismen *F* und *F* von 36^0 aus leichtem Flintglase derart verbunden, dass die ordentlichen Strahlen *o* ohne Ablenkung und auch ohne Dispersion durch das ganze Prisma hindurchtreten, während die ausserordentlichen Strahlen *e* in Folge ihres geringeren Brechungsindex im Kalkspath stark abgelenkt werden. Ist das Analysatorocular eingesetzt, so entwirft dieses zufolge der Verdoppelung aller Strahlen, die von dem Objectivsystem des Mikroskopes ausgehen, ein zweifaches Oeffnungsbild in dem „Augenpunkt" des Mikroskopes und zwar das eine, den ordentlichen Strahlen entsprechende in der Achse, das andere, den ausserordentlichen Strahlen angehörige in einem bestimmten Abstande seitlich von der Achse und es wird dieses letztere mittelst des einen wesentlichen Bestandtheil des Apparates bildenden Oculardeckels mit verengter Oeffnung abgeblendet.

Fig. 232.



Wir ersehen hieraus, dass, wenn wir bei dem zusammengesetzten Mikroskope ein Prisma erster Art oder ein „Abbe'sches" Prisma als Zerleger mit einem Polarisator irgend einer Art verbinden, wir durch dasselbe nur ein einziges Bild erblicken, welches in einem Falle von den ausserordentlichen, im anderen von den ordentlichen Strahlen entworfen wird. Dasselbe erscheint hell, wenn die Polarisationsebenen des Polarisators und Zerlegers parallel sind, halbhell, wenn sie einen Winkel von 45^0, und dunkel, wenn sie einen rechten Winkel mit einander bilden.

Da nun schon aus theoretischen Gründen jeder der beiden Theilstrahlen, in welchen ein gewöhnlicher Lichtstrahl durch die doppelte Brechung gespalten wird, nur die halbe Lichtstärke besitzt und diese in dem oberen Prisma noch einmal eine Theilung erleidet, da ausserdem durch Spiegelung etc. eine gewisse Menge Lichtes verloren geht, so darf man, bei Anwendung des Polarisationsapparates, immer nur auf weniger als $^1/_4$ derjenigen Lichtstärke rechnen, welche bei der gewöhnlichen mikroskopischen Beobachtung zu Gebote steht. Um diesem Lichtverluste entgegen zu wirken, bringt man in neuerer Zeit nach dem Vorschlage H. v. Mohl's eine Beleuchtungslinse über dem polarisirenden Prisma an, welche auch durch ein Linsensystem ersetzt werden kann, wie es z. B. bei dem Abbe'schen Beleuchtungsapparat geschieht, wenn der Polarisator in den Blendungsträger eingesetzt wird.

1. Einfluss doppelt brechender Körper auf bereits polarisirtes Licht.

290 Wie ein doppelt brechender Körper das Licht in bestimmten Richtungen zu polarisiren vermag, so kann er auch, und dies ist die für uns wichtigere Seite seines Verhaltens, bereits polarisirtes, d. h. in einer Ebene schwingendes Licht so verändern, dass es bei gewissen Stellungen der Polarisationsebene zu seiner optischen Achse wiederum in einer oder zwei anderen Ebenen schwingt. Ein Lichtstrahl, der bei gekreuzter Stellung der Polarisationsebenen des Polarisators und Analysators von dem letzteren aus nicht mehr in das Auge gelangt, kann durch das Dazwischentreten eines doppelt brechenden Krystalles so verändert werden, dass er wieder nach einer oder zwei Richtungen hin sichtbar erscheint. Um sich diesen Einfluss eines doppelt brechenden Körpers vor Augen zu bringen, braucht man nur zwischen Polarisator und Zerleger ein sehr dünnes Gypsblättchen einzuschalten, während deren Polarisationsebenen einen rechten Winkel mit einander bilden. Man wird dann finden, dass das von dem Polarisator ausgehende Licht aus dem Analysator wieder austritt, sobald der Hauptschnitt des Minerales mit den Polarisationsebenen einen Winkel von 45° macht.

Die Erscheinungen, welche durch diesen Einfluss der doppelt brechenden Körper hervorgerufen werden, sind mannigfacher Art. Für uns haben indessen nur wenige eine besondere Wichtigkeit, deren Betrachtung wir uns nicht entziehen dürfen. Dieselben beziehen sich auf die Wirkung, welche ein einzelner oder mehrere doppelt brechende Körper ausüben, wenn sie zwischen (in gekreuzter Stellung befindlichen) Polarisator und Analysator eingeschaltet und mittelst weissen, bei den hier zu behandelnden Darlegungen allein in Betracht kommenden Lichtes beobachtet werden.

Ehe wir jedoch zur Betrachtung dieser Erscheinungen übergehen, müssen wir einige Erörterungen über die Doppelbrechung einschalten, welche zu deren Verständniss erforderlich sind.

291 **Allgemeine Gesetze der Doppelbrechung.** Während in den amorphen anorganischen Körpern unter normalen Verhältnissen die Elasticität des die Schwingungen der Lichtstrahlen fortpflanzenden Aethers nach allen Richtungen gleich erscheint, so dass sich die letzteren nach allen Radien einer Kugeloberfläche mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzen und unter demselben, dem Snellius'schen Gesetze $\frac{\sin i^*}{\sin i} = \frac{n}{n^*}$ entsprechenden Winkel gebrochen werden, zeigen die den irregulären Krystallsystemen angehörenden Mineralien sowie gewisse amorphe Körper entweder normal — organische Gebilde —, oder unter

besonderen Verhältnissen (z. B. unter Einwirkung von einseitigem Druck, von Erwärmung mit rasch folgender Abkühlung, von Verdunstung u. s. w.) das eigenthümliche Verhalten, dass in verschiedenen auf einander senkrechten Richtungen die Elasticitäten des Aethers und somit die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten und Brechungsverhältnisse des durchgehendes Lichtes verschiedene sind. Dieses Verhalten giebt sich dadurch kund, dass ein in einem derartigen Krystall eindringender Lichtstrahl in zwei Strahlen gespalten wird, welche von ihrer ursprünglichen Richtung verschieden abgelenkt werden, d. h. von denen der eine stärker, der andere schwächer gebrochen erscheint. Diese Erscheinung, welche auf der Anordnung und dem Zustande der kleinsten Theilchen der Materie beruht und welche man mit dem Namen der Doppelbrechung bezeichnet hat, findet indessen nicht nach allen Richtungen eines Krystalles oder der doppelt brechenden amorphen Körper statt. Bei den Krystallen aus dem quadratischen und hexagonalen Systeme z. B. giebt es immer eine Richtung, in welcher die einfallenden Lichtstrahlen auf gleiche Elasticität des Aethers treffen, so dass sie den Krystall durchlaufen, ohne eine doppelte Brechung zu erleiden. Diese Richtung, welche mit der Hauptachse des Krystalles zusammentrifft, wird die optische Achse genannt und die betreffenden Krystalle heissen optisch einachsig. Diejenigen Krystalle hingegen, welche dem rhombischen, schief rhombischen und schief rhomboidischen Krystallsysteme angehören, besitzen zwei Richtungen, nach denen die einfallenden Lichtstrahlen nicht doppelt gebrochen werden. Die hierher gehörigen Krystalle werden daher optisch zweiachsig genannt.

Die beiden ungleich abgelenkten Strahlen zeigen in verschiedenen doppelt brechenden Körpern ein verschiedenes Verhalten gegen einander, welches für die Charakterisirung der letzteren von Wichtigkeit wird.

Einachsige Krystalle. Bei den einachsigen Krystallen (und sich ähnlich verhaltenden amorphen Körpern) behält der eine Theilstrahl unter allen Einfallsänderungen die gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit und der Brechungsexponent desselben entspricht unter allen Verhältnissen dem Snellius'schen Brechungsgesetze; er wird der ordentlich gebrochene oder ordinäre Strahl genannt. Der andere Theilstrahl dagegen ändert seine Fortpflanzungsgeschwindigkeit und damit seinen Brechungsexponenten je nach der Neigung der einfallenden Lichtstrahlen gegen die optische Achse und wird als der ausserordentlich gebrochene oder extraordinäre Strahl bezeichnet.

Die Krystalle, deren ausserordentlicher Strahl der stärker gebrochene, also der mit der geringeren Geschwindigkeit sich fortpflanzende ist, heissen positiv einachsig; jene dagegen, bei denen der ordentliche Strahl der stärker gebrochene, d. h. mit der geringeren Geschwindigkeit sich fortpflanzende ist, werden negativ einachsig genannt.

Bringen wir die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der beiden Theilstrahlen und damit die deren Brechungsverhältniss bedingenden in zwei

auf einander senkrechten Richtungen verschiedenen Aetherelasticitäten mit der optischen Achse in Beziehung, so leuchtet ein, dass die letztere entweder mit der Achse der kleinsten oder der grössten Elasticität zusammenfällt, während letztere nach jeder anderen Richtung hin wechselt und in allen zur optischen Achse senkrechten Richtungen im einen Falle ein Maximum, im anderen ein Minimum erreicht. Beschreibt man nun eine Ellipse, deren Achsen je der Achse der grössten und kleinsten Elasticität entsprechen, so erscheint dieselbe für die optisch positiven Krystalle in der Gestalt der Fig. 233, für die optisch negativen in jener der Fig. 234, und es geht aus der Umdrehung dieser Ellipsen um die Achse *ab* je ein Umdrehungsellipsoid hervor. In diesen Ellipsoiden, welche je das Elasticitätsellipsoid je eines einachsig positiven oder eines

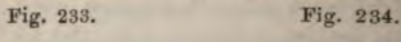
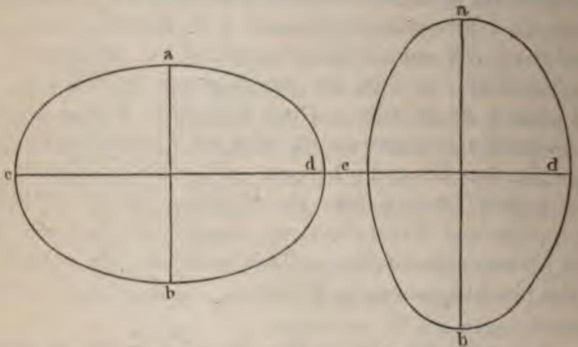


Fig. 233. Fig. 234.



einachsig negativen Krystalles darstellen, bilden sämmtliche zur optischen Achse senkrecht geführte, also in der zweiten ausgezeichneten Ebene oder ihr parallel gelegene Schnitte Kreisflächen, während alle anderen, zur optischen Achse unter irgend einem spitzen Winkel geneigten Schnitte, wie sie z. B. bei der Umdrehung eines solchen Ellipsoides um eine der auf der Achse *ab* senkrecht stehenden Elasticitätsachsen in dem Durchschnitt mit der Horizontalebene, in der die für die senkrecht zu ihr einfallenden Lichtstrahlen in jedem einzelnen Falle wirksam werdenden Elasticitätsverhältnisse zum Ausdruck kommen, erzeugt werden, Ellipsen vorstellen, unter denen diejenige, welche durch die optische Achse gelegt, also im Hauptschnitt gelegen ist, die grösste Excentricität zeigt.

Zweiachsige Krystalle. Die Brechungsverhältnisse der optisch zweiachsigen Körper zeigen die eben geschilderten einfachen Beziehungen nicht. Bei ihnen ist keiner der beiden Theilstrahlen ein ordentlich gebrochener, d. h. es durchläuft keiner derselben den betreffenden Krystall mit stets gleicher Geschwindigkeit, indem er dem Gesetze der gewöhnlichen Brechung folgt. Man beobachtet hier drei auf einander senkrechte Richtungen *ab*, *cd* und *ef* (Fig. 235), in denen die Fortpflanzungs-

geschwindigkeit von einem bestimmten Punkte ausgehender Strahlen, also auch die damit in Beziehung stehende Elasticität des Aethers eine verschiedene ist.

Denken wir uns um die drei Linien: die Elasticitätsachsen, ein Ellipsoid beschrieben, so stellt dieses das Elasticitätsellipsoid (Fig. 235) dar und es lassen sich leicht die Verhältnisse der Elasticitäten veranschaulichen, welche bei einer bestimmten Stellung dieses Ellipsoides in einem Schnitte desselben mit der Horizontalebene für die senkrecht zu dieser einfallenden Lichtstrahlen zur Wirkung gelangen. Sei das Ellipsoid zunächst auf einen seiner Scheitel gestellt, so bildet der gedachte Schnitt eine Ellipse, als deren beide Achsen die mittlere, cd, und kleinste, ef, Elasticitätsachse erscheinen. Vollziehen wir nun, etwa nach unten eine Viertelumdrehung um die mittlere Achse cd, so entspricht jeder kleinsten Drehungsgrösse eine andere Ellipse, von denen jede die Drehungsachse immer als eine ihrer Achsen beibehält, während die zweite alle Werthe von ef bis ab durchlaufen kann und dabei einmal bei einer gewissen Drehungsgrösse den Werth von cd annehmen muss, da dieses grösser als ef, aber kleiner als ab ist. In dem letzten Falle bildet der Horizontalschnitt daher einen Kreis, im ersteren eine Ellipse, mit den Achsen cd (mittlere Elasticitätsachse) und ab (grösste Elasticitätsachse). Lassen wir endlich das Ellipsoid aus der Scheitelstellung eine Viertelumdrehung nach rechts machen, so bleibt die Achse ab constant, während cd alle Werthe bis zu demjenigen von ef durchlaufen muss, so dass wir mit Ablauf der Drehung eine Ellipse erhalten, deren Achsen in der grössten, ab, und kleinsten Elasticitätsachse, ef, gegeben sind. Dreht man endlich aus der letzten Stellung um 90° (etwa nach unten), so kommt eine Ellipse zum Vorschein, welche die kleinsten, ef, und mittleren, cd, Elasticitätsachsen in sich aufnimmt, während dieselben gegen die erste Ellipse (cd, ef) um 90° gedreht erscheint. Die eben geschilderten Erscheinungen wiederholen sich in umgekehrter Reihenfolge, wenn die Umdrehung von 90° aus um eine weitere Viertelumdrehung, also auf eine halbe Umdrehung ausgedehnt wird. Der Kreisschnitt erscheint demgemäss bei der Drehung um die Achse cd zweimal, und zwar einmal zwischen 0° und 90°, das andere Mal zwischen 90° und 180°.

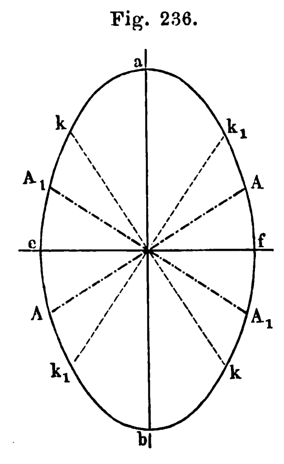
Fig. 235.



Diese beiden Kreisschnitte, welche also immer durch die mittlere Elasticitätsachse oder derselben parallel gehen, und in ihrer durch das

gegenseitige Verhältniss der drei Elasticitätsachsen $ab:cd:ef$ bestimmten Neigung gegen einander von 0^0 bis 180^0 wechseln können, stellen nun solche Schnitte des Elasticitätsellipsoides vor, für welche die auf ihnen errichteten Senkrechten denjenigen Richtungen entsprechen, in welchen ein Lichtstrahl in dem doppelt brechenden Körper ganz in der gleichen Weise verläuft, wie in einem einfach brechenden Körper. Diese Senkrechten AA und $A_1 A_1$, Fig. 236, deren Neigungswinkel die Supplemente bilden, zu denjenigen der Kreisschnitte kk und $k_1 k_1$, werden als optische Achsen bezeichnet. Dieselben liegen immer symmetrisch in derjenigen als Hauptschnitt bezeichneten Ebene, welche die Richtungen der grössten und kleinsten Fortpflanzungsgeschwindigkeit, also die Achsen der grössten (ab) und kleinsten (ef) Aetherelasticität enthält, und es halbiren diese letzteren den spitzen sowohl als den stumpfen Winkel, welche die ersteren mit einander bilden. Diejenige Elasticitätsachse, welche den spitzen Winkel halbirt, heisst die Mittellinie des zweiachsigen Krystalles, und dieser selbst wird positiv genannt, wenn die Mittellinie der Richtung der kleinsten, negativ, wenn sie der Richtung der grössten Fortpflanzungsgeschwindigkeit oder Aetherelasticität entspricht.

Fig. 236.



292 **Verhalten eines parallel zur Achsenebene geschliffenen Krystallplättchens.** Schaltet man ein einzelnes, aus einem doppelt brechenden Krystalle, z. B. aus Gyps, geschliffenes dünnes Plättchen, dessen Flächen der Ebene parallel sind, welche seine optischen Achsen enthält, zwischen die beiden Nicols ein, so beobachtet man folgende Erscheinungen. In zwei zu einander senkrechten Lagen äussert das Plättchen gar keinen Einfluss auf die Beschaffenheit des Sehfeldes, und dieses bleibt vor wie nach dunkel. In jeder anderen Lage zwischen 0^0 und 90^0 erscheint dagegen das Sehfeld, je nach der Dicke des eingeschalteten Plättchens, gefärbt, und zwar ist die Lebhaftigkeit der während der Drehung im Tone sich nicht ändernden Färbung am grössten, wenn die Schwingungsebenen der Prismen mit jenen der Krystallplatte einen Winkel von 45^0 bilden. Diese Farbenerscheinungen haben, wie die Farbenringe dünner Schichten fester und flüssiger Körper, welche unter dem Namen der Newton'schen Farbenringe bekannt sind, ihren Grund darin, dass die Verzögerung, welche die, verschiedene Wellenlängen, also auch verschiedene Geschwindigkeiten besitzenden Elementarstrahlen des weissen Lichtes durch die Brechung erleiden, bei einer und derselben Dicke desselben Körpers eine verschiedene ist. Die einzelnen einfachen Strahlen treten daher in verschiedenen Schwingungszuständen aus dem eingeschalteten

:hen heraus und erscheinen, aus dem Zerleger kommend, und nach Interferenz mit verschiedener Lichtstärke. Auf diese Weise ent- ı Mischfarben, die vorzugsweise von jenen Strahlen abhängen, welche össter Intensität auftretend, jene mit schwächerer Intensität mehr weniger vollständig löschen.

Durch die Wahl verschiedener Dicke des eingeschalteten sogenannten ögernden Gypsplättchens können wir verschiedene Färbungen ehfeldes hervorrufen, welche unter obiger Voraussetzung, d. h. bei winklig gekreuzten Polarisationsebenen, den Farben der Newton'- Ringe in zurückgeworfenem Lichte entsprechen und nach Professor tt (Sitzungsberichte der Wiener Akademie, 77. Bd., II. Abtheil., Separatabdruck Seite 53) folgende Reihe bilden.

Erste Ordnung.

Schwarz	(Weiss)	(0)[1]
Dunkellavendelgrau	(Bräunlichweiss)	(100)
Heller „	(Hellbraun)	(107)
Sehr hell „	(Dunkelbraun)	(116)
Bläulichweiss	(Rothbraun)	(124)
Grünlichweiss	(Dunkelpurpur)	(129)
Gelblichweiss	(Dunkelviolett)	(135)
Blassstrohgelb	(Dunkelblau)	(140)
Braungelb	(Heller Blau)	(164)
Orange	(Hellblau)	(235)
Roth	(Blassblaugrün)	(245)

Zweite Ordnung.

Purpur	(Blassgrün)	(257)
Violett	(Hellgelbgrün)	(272)
Indigo	(Hellgelb	(282)
Himmelblau	(Goldgelb)	(300)
Heller Himmelblau	(Orange)	(352)
Sehr hell Blaugrün	(Roth)	(372)
Hellgrün	(Tief Purpur)	(387)
Gelbgrün	(Violett)	(409)
Gelb	(Blau)	(435)
Hellorange	(Heller Blau)	(465)
Roth	(Bläulichgrün)	(490)

Dritte Ordnung.

Purpur	(Grün)	(520)
Violett	(Hellgelbgrün)	(550)

[1] Die eingeklammerten Zahlen geben die Luftdicke für die Newton'schen nringe in Milliontheilen des Millimeters an.

Blau	(Gelb)	(570)
Meergrün	(Fleischroth) . .	(600)
Grün	(Purpur)	(650)
Blassgelbgrün . .	(Graublau) . . .	(680)
Falbes Gelb . . .	(Graublau) . . .	(726)
Roth	(Meergrün) . . .	(750)

Werden die Polarisationsebenen der beiden Prismen in parallele Stellung gebracht, so treten ähnliche Farbenerscheinungen auf. Es bilden jetzt aber die einer bestimmten Dicke des eingeschalteten Plättchens zugehörenden, in obenstehender Tabelle eingeklammerten, Farben die Complementärfarben derjenigen, welche bei gekreuzten Polarisationsebenen beobachtet wurden, entsprechen sonach den Newton'schen Farben für das durchgelassene Licht.

Wird ein parallel der Achsenebene geschnittenes Plättchen, dessen Elasticitätsachsen die Polarisationsebenen unter Winkeln von 45° schneiden, um eine seiner horizontalen Achsen derart gedreht, dass es eine geneigte Lage gegen die Achse des Polarisationsmikroskopes annimmt, so werden ähnliche Farbenänderungen hervorgerufen, wie wenn man Plättchen von verschiedener Dicke einschaltet, indem die polarisirten Lichtstrahlen während einer solchen Drehung und gemäss deren Grösse einen weiteren Weg zurückzulegen haben, als bei horizontaler Lage. Der durch diese Vergrösserung des Weges hervorgerufene Gangunterschied wird ein vermehrter, d. h. die Drehung wirkt gleich einer Verdickung des Plättchens, wenn die Drehungsachse in dem Hauptschnitt liegt, ein verminderter, d. h. die Drehung wirkt gleich einer Verdünnung des Plättchens, wenn jene in die zum Hauptschnitt senkrechte zweite ausgezeichnete Ebene fällt.

Dreht man z. B. das Gypsplättchen von Roth erster Ordnung, nachdem man es so eingeschaltet hat, dass seine Mittellinie mit den Polarisationsebenen einen Winkel von 45° macht, um diese, so steigt seine Farbe in der Reihe der Newton'schen Ringe von Roth zu Violett, Indigo, Grün; sie sinkt dagegen nach Orange, Gelb, Weisslich, wenn die Drehung um eine zur Mittellinie senkrechte Achse ausgeführt wird. Die in ähnlicher Weise vorgenommene Drehung eines Gypsplättchens von Blau zweiter Ordnung ergiebt für den ersten Fall Blau, Blaugrün, Grün, Gelbgrün, also ein Steigen, für den anderen Blau, Violett, Roth, also ein Sinken der Farben.

293 **Verhalten zweier oder mehrerer parallel zur Achsenebene geschliffener Krystallplättchen.** Werden an Stelle eines einzigen Plättchens deren zwei zwischen die beiden Prismen des Polarisationsmikroskopes eingeschaltet, so resultiren daraus Erscheinungen, welche für die mikroskopische Beobachtung von Wichtigkeit sind. Wir müssen denselben daher eine etwas eingehendere Betrachtung zu Theil werden lassen.

Bringt man zwei derartige Plättchen von gleichem Charakter, z. B. zwei Gypsplättchen, in solcher Lage zwischen die beiden gekreuzten Nicols, dass ihre gleichnamigen Schwingungsebenen oder Elasticitätsachsen zusammenfallen, man also eine sogenannte parallele Verdoppelung hat, so ist das Resultat das gleiche, als ob man ein einziges Plättchen von grösserer Dicke eingeschaltet hätte. Der Gangunterschied vergrössert sich, und die bei Beobachtung in weissem Lichte auftretenden Interferenzfarben steigen in der Reihenfolge der Newton'schen Farbenringe. Verbindet man dagegen die beiden Plättchen so mit einander, dass sich ihre gleichnamigen Elasticitätsachsen kreuzen, die Schwingungsebene des ordentlichen Strahles im einen mit der Schwingungsebene des ausserordentlichen Strahles im anderen zusammenfällt, dass also der eine Strahl voraneilt, während der andere zurückbleibt, dann tritt bei dieser sogenannten gekreuzten Verdoppelung eine Verminderung im Gangunterschiede ein, und der Erfolg ist derselbe, als ob man ein dünneres Plättchen von demselben Charakter verwendet hätte, d. h. die Interferenzfarben nehmen eine niedrigere Stelle in der Scala ein.

Wäre z. B. ein Gypsplättchen von Roth und ein solches von Graublau (Helllavendelgrau) erster Ordnung mit einander eingeschaltet worden, so würde dem Sehfelde unter der ersteren Voraussetzung eine blaue, unter der anderen eine orangegelbe Färbung ertheilt worden sein. Die resultirenden Farben können jedesmal theoretisch berechnet werden. Sucht man nämlich diejenigen Zahlen auf, welche die Dicke des Spaltraumes angeben, der zur Erzeugung der, den Farben der verwendeten Plättchen entsprechenden Farben für die Newton'schen Farbenringe gefordert ist, so müssen diese im Falle des Zusammenfallens der homologen Schwingungsebenen addirt, im Falle der Kreuzung subtrahirt werden. Man kann daher der Kürze wegen die ersteren als Additionsfarben, die letzteren als Subtractionsfarben bezeichnen.

Die Complication ist bei der Möglichkeit einer ausgedehnten Reihe von Combinationen von Plättchen der verschiedensten Farben natürlich eine sehr bedeutende. Da jedoch für den ausübenden Mikroskopiker hauptsächlich jene Combinationen in Betracht kommen, welche mittelst der Gypsplättchen von Roth erster und zweiter und von Hellviolett dritter Ordnung, oder endlich durch Verbindung zweier gleichfarbiger Plättchen unter sich oder mit jenen Gypsplättchen erreicht werden, so wollen wir nur einige derjenigen Farben zusammenstellen, welche aus derartigen Verbindungen hervorgehen.

Betrachten wir z. B. einige Combinationen von Plättchen verschiedener Farben mit einem Gypsplättchen von Roth erster Ordnung, so ergeben sich folgende Resultate:

Farbe des zweiten Plättchens für sich	Farben der Combination	
	Additionsfarben	Subtractionsfarben
Dunkelgrau . . 1. Ordnung	Violett . . . 2. Ordnung	Orangeroth . . 1. Ordnung
Lavendelgrau . 1. „	Blau . . . . 2. „	Gelb . . . . . 1. „
Weiss . . . . 1. „	Grün . . . . 2. „	Weiss . . . . 1. „
Gelb . . . . . 1. „	Gelb . . . . 2. „	Grau . . . . 1. „
Orange . . . . 1. „	Orange . . . 2. „	Dunkelgrau . . 1. „
Roth . . . . . 1. „	Roth . . . . 2. „	Schwarz . . . 1. „

u. s. f.

Beobachtet man bei paralleler Stellung der Polarisationsebenen, so treten die complementären Farben der oben angegebenen auf, die ich nicht näher berücksichtigt habe, da sie sich aus der S. 453 gegebenen Tabelle leicht auffinden lassen und ausserdem diese Beobachtungsweise für das Mikroskop nur in Ausnahmefällen angewendet wird.

Wird ein parallel zur Achsenebene geschnittenes Plättchen auf einem feststehenden Gypsplättchen von bekannter Farbe gedreht, so geht die Additionsfarbe unter + 45° allmälig in jene des Gypsplättchens und dann in die Subtractionsfarbe unter — 45° über, ohne dass dieser Uebergang in den Tönen der Newton'schen Scala geschähe.

Dreht man z. B. ein Plättchen von Grünblau erster Ordnung auf dem Gypsplättchen Roth erster Ordnung, so erhält man Blau, Dunkelviolett, Violett, Roth, Blassroth, röthlich Graugelb, blass Orangegelb, Gelb.

Befinden sich zwei Krystallplättchen von gleicher Dicke über einander, so resultiren daraus verschiedene Farben, je nachdem dieselben mit den homologen Elasticitätsachsen über einander liegen, oder diese — zwischen 0° und 90° — einen grösseren oder kleineren Winkel mit einander machen. Sind die ungleichnamigen Elasticitätsachsen über einander gelagert, so wird unter allen Umständen das bei gekreuzten Polarisationsebenen dunkele Sehfeld wiedergegeben.

Der erstere Fall findet sich bei allen organischen Körpern, deren Elasticitätsachsen einen mit deren Ausmessungen gehenden Verlauf haben, während der andere da auftritt, wo jene schief dahin gehen. Wir müssen daher beide Fälle etwas näher betrachten.

Liegen die beiden oder auch mehrere Plättchen mit ihren gleichnamigen Elasticitätsachsen über einander geschichtet, so gehen daraus, nn dieselben so orientirt werden, dass die letzteren mit den Polarisasebenen einen Winkel von 45° bilden, Farben hervor, welche der pelten, dreifachen etc. Dicke entsprechen.

So z. B. geben zwei Plättchen von

Graublau	erster Ordnung	Hellgelb	erster Ordnung
Weiss	„ „	Orangeroth	„ „
Strohgelb	„ „	Violett	zweiter Ordnung
Glänzend Gelb	„ „	Blau	„ „
Orangegelb	„ „	Grünlichgelb	„ „
Roth	„ „	Roth	„ „
Violett	zweiter Ordnung	Indigo	dritter Ordnung
Blau	„ „	Grün	„ „
Grün	„ „	Rosa	„ „

Werden die Plättchen so über einander geschichtet, dass ihre Schwingungsebenen oder Elasticitätsachsen einen Winkel mit einander bilden, und so orientirt, dass die Linie, welche diesen Winkel halbirt, unter 45° mit den Polarisationsebenen dahin geht, so ändern sich die oben beschriebenen Additionsfarben.

So geben zwei Plättchen von Graublau, wenn ihre gleichnamigen Elasticitätsachsen über einander fallen, die Additionsfarbe Hellgelb, diese ändert sich bei einem Drehungswinkel von 1/4 Rechten in heller Gelb, von 1/2 R. in Weisslich, von 3/4 R. in Bläulichweiss, von 1 R. in Schwarz und geht bei weiterer Drehung bis zu 2 R. oder 180° in denselben Tönen wieder nach Hellgelb zurück. Zwei Gypsplättchen von Roth erster Ordnung in derselben Weise auf einander gelegt und gedreht, bleiben, so lange nicht Kreuzung der gleichnamigen Elasticitätsachsen stattfindet, Roth, es ist diese Farbe jedoch zwischen 1/2 und 1 1/2 R. etwas dunkler, d. h. sie nähert sich mehr dem Roth erster Ordnung als in den Quadranten zwischen 0° und + 45° und zwischen 90° und — 45°.

Orientirt man die beiden Plättchen so, dass die den Drehungswinkel halbirende Linie mit den Polarisationsebenen zusammenfällt, so geben dieselben Farben, so lange ihre gleichnamigen Elasticitätsachsen nicht zusammenfallen oder sich kreuzen, in welchem Falle das Gesichtsfeld dunkel bleibt. Es zeigen z. B. die beiden Plättchen von Graublau Hellbläulichgrau, wenn ihre Schwingungsebenen einen Winkel von 45° mit einander machen, Dunkelbläulichgrau, wenn sie unter 1/4 oder 3/4 Rechten gegen einander geneigt sind. Zwei Plättchen von Roth erster Ordnung geben bei 45° Violett, bei 1/4 und 3/4 R. Dunkelviolett.

Verbindet man zwei über einander geschichtete Plättchen von gleicher Farbe mit einem feststehenden Gypsplättchen, so sind die daraus hervorgehenden Farben einestheils von den Winkeln, welche die Elasticitätsachsen derselben unter einander oder mit der diese halbirenden Mittellinie machen, anderntheils von der Stellung dieser letzteren selbst gegen die Polarisationsebenen abhängig.

Um ein Beispiel der hier auftretenden Farbenerscheinungen zu geben, welche für die Beurtheilung der optischen Verhältnisse solcher organischer Körper wichtig werden, deren Achsen schief verlaufen, stelle ich

dieselben für die obigen zwei Plättchen von Helllavendelgrau erster Ordnung zusammen, deren Schwingungsebenen unter Winkeln von 0° bis 180° gegen einander geneigt waren und welche über einem Gypsplättchen von Roth erster Ordnung gedreht wurden.

Orientirung	Winkel, welchen die Schwingungsebenen unter sich und mit der Mittellinie machen								
	0°	$\frac{1}{4}$ R. / $\frac{1}{8}$ R.	$\frac{1}{2}$ R. / $\frac{1}{4}$ R.	$\frac{3}{4}$ R. / $\frac{3}{8}$ R.	1 R. / $\frac{1}{2}$ R.	$\frac{5}{4}$ R. / $\frac{5}{8}$ R.	$\frac{3}{2}$ R. / $\frac{3}{4}$ R.	$\frac{7}{4}$ R. / $\frac{7}{8}$ R.	180° / 1 R.
+ 45°	Bläulichgrün	Blaugrün	Blau mit Grün	Blau	Roth	Orange	Gelborange	Hellorangegelb	Gelbweiss
0°	Roth 1	Rothviolett	Blauviolett	Indigo	Roth	Rothorange	Röthlichorange	Orange	Roth
— 45°	Gelbweiss	Hellorangegelb	Gelborange	Orange	Roth	Blau	Blau mit Grün	Blaugrün	Grün
90°	Roth 1	Orange	Röthlich orange	Rothorange	Roth	Indigo	Blauviolett	Rothviolett	Roth

Betrachten wir dies Verhalten näher, so ergiebt sich, dass in der Lage von + 45°, wo also die den Winkel der Elasticitätsachsen der geschichteten Plättchen halbirende Mittellinie mit der Elasticitätsachse des Gypsplättchens zusammenfällt, die Farben sich so lange in Addition befinden, als der Winkel mit der Mittellinie unter $\frac{1}{2}$ R. (45°) bleibt, wenn dieser Winkel gleich $\frac{1}{2}$ R. ist, der Gypsgrund wiedergegeben wird, und endlich die Interferenzfarben in Subtractionsfarben übergehen, sobald derselbe über $\frac{1}{2}$ (45°) R. bis zu 1 R. (90°) steigt. In der Stellung — 45° findet das Umgekehrte statt, so lange der Winkel zwischen der Mittellinie und den Elasticitätsachsen nicht $\frac{1}{2}$ R. (45°) beträgt, in welchem Falle sich die Combination als neutral erweist. Im ersteren Falle bemerken wir ein Sinken, im anderen ein Steigen der beiderlei Interferenzfarben.

Sind die geschichteten Plättchen so orientirt, dass die Mittellinie mit einer der beiden Polarisationsebenen zusammenfällt, so haben wir unter 0° bei einem unter 45° bleibenden Winkel Additionsfarben, bei einem über 45° steigenden Winkel dagegen Subtractionsfarben und unter 90° findet eine Vertauschung der Interferenzfarben statt. Bei der ersteren Orientirung findet zwischen 0° und 45° ein Steigen, zwischen 45° und 90° ein Sinken, bei der zweiten Orientirung eine Umkehrung dieser Erscheinung statt, während unter 45° und 90° Roth hervortritt.

Dreht man die Combination allmälig aus der Stellung von + 45° nach 0°, — 45° und 90°, so werden eine Reihe von Farbentönen durchlaufen, welche zwar Mitteltöne zwischen den in der Tabelle gegebenen acht Farben bilden, nicht aber mit der Newton'schen Farbenreihe

übereinstimmen. So treten z. B. für die beiden oben genannten Plättchen, bei einer Neigung der Elasticitätsachsen von 45°, Grün mit Blau, Hellblau, dunkler Blau, Indigo, Blauviolett, Hellviolett, Lila, Gelbweiss, Gelb, Orangegelb, Orange nach einander auf.

Verhalten senkrecht zur optischen Achse geschnittener einachsiger oder senkrecht zur Mittellinie geschnittener zweiachsiger Krystallplatten. 294 Beobachtet man eine senkrecht zur optischen Achse geschnittene dickere, keine Farben gebende ebene Platte eines einachsigen Krystalles (mit Ausnahme des Bergkrystalles) bei gekreuzten Polarisationsebenen, so bleibt das Sehfeld für alle Stellungen der Platte vollkommen dunkel, sobald diese eine nur geringe Ausdehnung hat. Nimmt dagegen die Platte eine grössere Ausdehnung an, oder beobachtet man kleinere Platten unter Anwendung von lichtconcentrirenden Linsen, so dass die in den äusseren Theilen durchtretenden Strahlen eine mehr geneigte Richtung gegen das Auge erlangen, so ändert sich das Verhalten. Man erblickt jetzt bei jeder beliebigen Stellung der um ihre senkrechte Achse gedrehten Platte das Sehfeld in der Mitte dunkel, in den äusseren Theilen aber von zwei, in auf einander senkrechten, den Projectionen der Polarisationsebenen entsprechenden Richtungen dahingehenden, das sogenannte Polarisationskreuz bildenden dunkelen Bändern durchsetzt, während die dazwischen liegenden Quadranten allmälig derart erhellt erscheinen, dass das Maximum der Helligkeit in den unter 45° verlaufenden Radien auftritt. Hat die Platte eine bedeutendere Ausdehnung erlangt, so treten bei Beobachtung in weissem Lichte neben dem Polarisationskreuze noch concentrische, die Newton'sche Farbe zeigende Ringsysteme auf.

Schaltet man an Stelle der einachsigen eine solche Platte ein, welche aus einem zweiachsigen Krystalle senkrecht zur Mittellinie geschnitten ist, so ändern sich die auftretenden Interferenzerscheinungen wesentlich. Das schwarze Kreuz tritt jetzt nur dann auf, wenn die Ebene, welche man sich durch die beiden optischen Achsen gelegt denken kann, mit einer der beiden Polarisationsebenen parallel ist. Dreht man dagegen die Platte um ihren senkrechten Durchmesser, so wandeln sich die Kreuzesarme in zwei die Achsenebene schneidende Hyperbeln um, deren grösste Entfernung eintritt, sobald jene Ebene die Polarisationsebenen unter einem Winkel von 45° schneidet [1]).

Werden die zweiachsigen, senkrecht zur Mittellinie geschnittenen Plättchen so dünn, dass sie glatte Farben zeigen (wofür der Glimmer

---

[1]) Im gewöhnlichen Mikroskope lassen sich die besprochenen Erscheinungen, wenigstens für eine Anzahl von Krystallen, leicht mittelst eines schwachen Objectivsystemes von etwa 30 mm, z. B. aa Zeiss, beobachten, wenn man das Ocular wegnimmt, die Krystallplatte auf den Objectivtisch und einen einfachen Analysator über den offenen Tubus bringt.

ein Beispiel giebt), so lassen sich mittelst derselben ähnliche Erscheinungen hervorrufen, wie mittelst der parallel zur Achsenebene geschliffenen.

Nur bei der Drehung um eine horizontale Achse ändert sich das Verhalten, je nachdem diese in die Achsenebene des Plättchens fällt, oder auf der Mittellinie senkrecht steht. Wird z. B. ein Glimmerplättchen von Graublau erster Ordnung, um eine in der Achsenebene liegende, also mit der kleinsten Elasticitätsachse parallele Achse gedreht, so giebt dasselbe für sich: Hellblaugrau, Weiss, Gelb, Orange, Roth, Violett; über einem Gypsplättchen von Roth erster Ordnung: Blau, Grün, Gelb, Orange, Roth, Violett, Blau, über einem solchen von Hellblauviolett dritter Ordnung: Grün, Gelbgrün, Rosa, Purpur, Grauviolett, Graugrün. Geschieht die Drehung um eine auf der Achsenebene senkrechte, also mit der mittleren Elasticitätsachse parallele Achse, so hat man für sich: Hellblaugrau, Dunkelgrau, Schwarz (und dann in etwas rascherer Folge) Dunkelgrau, Hellblaugrau, Weiss, Gelb; über dem Gypsplättchen von Roth erster Ordnung: Gelb, Orange, Roth, Violett, Blau, Grün, Gelb; über jenem von Hellblauviolett dritter Ordnung: Roth, Rothviolett, Hellblauviolett, Blaugrün, Grün, Gelbgrün, Rosa. In diesem Falle verhält sich also das Glimmerplättchen bei einer bestimmten, von seinem Achsenwinkel abhängigen Neigung gegen die Achse des Polarisationsinstrumentes neutral, weil die eine seiner optischen Achsen in senkrechte Lage kommt und die polarisirten Lichtstrahlen unverändert durchgehen. Wir sehen daher an dieser Stelle entweder das Dunkel des Sehfeldes, oder die ihm durch das fest eingeschaltete verzögernde Plättchen ertheilte Farbe auftreten.

295 **Circularpolarisation des Bergkrystalles.** Der Bergkrystall unterscheidet sich in seinem Verhalten gegen polarisirtes Licht wesentlich von den übrigen einachsigen Krystallen. Bringt man eine aus diesem Material senkrecht zur Achse geschnittene Platte in den polarisirenden Apparat, so erscheint das Sehfeld lebhaft gefärbt, und es ändert sich die Färbung je nach der Drehung des Analysators. In keiner Stellung desselben erscheint das Sehfeld farblos, hell oder dunkel. Die beobachteten Farbenveränderungen während der Umdrehung des Zerlegers folgen sich in der Ordnung der prismatischen Farben. Bei manchen Bergkrystallen erhält man, im Verlaufe der Drehung nach der rechten Seite, also von 0° nach 90° (Fig. 237, S. 462), nach einander Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett, während bei anderen dieselbe Farbenreihe auftritt, wenn die Drehung nach der linken Seite hin, also von 0° nach 270° vorgenommen wird. Platten ersterer Art heissen r e c h t s d r e h e n d e, die anderen l i n k s d r e h e n d e.

Aehnliche Erscheinungen lassen sich hervorbringen, wenn man linear polarisirtes Licht durch irgend eine Veranstaltung in kreisförmig polarisirtes überführt. Hierzu eignet sich neben anderen Mitteln nament-

lich ein Glimmerplättchen, welches für gelbes Licht und annähernd auch für alle anderen einfachen Farben einen Gangunterschied der beiden Strahlen von $^1/_4$ Wellenlänge bewirkt.

Schaltet man ein solches Plättchen so in den Polarisationsapparat ein, dass es bei gekreuzten Polarisationsebenen dem Sehfelde unter gleichzeitig stärkster Erhellung eine hellblaugraue Färbung ertheilt, so kann man den Analysator um seine Achse drehen, ohne dass sich die Helligkeit merklich ändert, während bei paralleler Stellung der Polarisationsebenen die graublaue Färbung in eine blassgelbe übergeführt wird. Man erhält auf diese Weise rechts kreisförmig polarisirtes Licht, wenn die Achsenebene des Plättchens den ersten und dritten Quadranten unter 45° schneidet. Hat man das letztere so eingeschaltet, dass seine Achsenebene den zweiten und vierten Quadranten unter 45° schneidet, so wird links kreisförmig polarisirtes Licht erzeugt.

Für die mikroskopische Beobachtung kann die Ueberführung des linear polarisirten Lichtes in kreisförmig polarisirtes namentlich dann von Wichtigkeit werden, wenn es gilt, sich über die Richtung der optischen Achse organischer Objecte zu unterrichten. Man benutzt hierzu in der Regel das oben beschriebene Glimmerplättchen, welches einfach als $^1/_4$ Glimmerplättchen bezeichnet wird, und bei dem polarisirenden Apparat für das Mikroskop nicht fehlen sollte.

2. Bestimmung der optischen Eigenschaften organischer Körper.

Nachdem wir uns im Vorausgehenden mit den Grundlagen bekannt gemacht haben, auf denen das Verständniss und die Erklärung des optischen Verhaltens der organischen Körper beruht, können wir zur Bestimmung dieses letzteren selbst, und somit zu den Aufgaben übergehen, welche die Beobachtung der mikroskopischen Objecte mittelst polarisirten Lichtes zu lösen hat. **296**

Diese Aufgaben sind folgende:

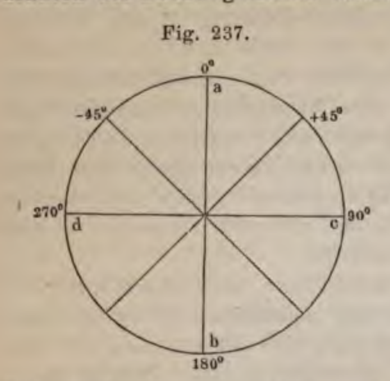
1. Ist zu entscheiden, ob das zur Beobachtung vorliegende Object einfach oder doppelt brechend, und wenn das letztere, ob es
2. ein- oder zweiachsig ist;
3. muss für den ersten Fall unter Nr. 2 die Richtung der optischen Achse, für den anderen die Lage der Elasticitätsachsen bestimmt, und endlich
4. die Frage beantwortet werden, ob dem betreffenden Objecte der positive oder negative Charakter zukomme.

Da bei der Entscheidung aller dieser Punkte des optischen Charakters die Drehung des Objectes um eine senkrechte Achse gefordert wird, so

ist es von Vortheil, wenn das Polarisationsmikroskop mit einer gut centrirten Drehscheibe versehen ist, welche man in den Tisch einsetzen und wieder entfernen kann.

Die Richtung der Drehung lässt sich am einfachsten nach dem Quadranten des Drehungskreises bestimmen, welchen man durchlaufen hat. Um ein volles Einverständniss darüber zu erzielen, ist es gut, die Bezeichnung dieser Quadranten ein für allemal fest zu normiren. Denkt man sich z. B. das Sehfeld von vier Durchmessern rechtwinklig durchschnitten, von denen der eine *ab* (Fig. 237) bei gekreuzten Prismen mit der Polarisationsebene des oberen, der andere *cd* mit jener des unteren zusammenfällt, so mag der Punkt *a* als Anfangspunkt der Drehung 0⁰, *c* 90⁰, *b* 180⁰, *d* 270⁰ des Drehungskreises entsprechen, und es ist die Richtung der Drehung vollständig bestimmt, wenn wir den Quadranten zwischen 0⁰ und 90⁰ als **positiven**, jenen zwischen 0⁰ und 270⁰ als **negativen** bezeichnen. Mit + 45⁰ ist dann der Durchmesser zwischen 45⁰ und 225⁰, mit — 45⁰ jener zwischen 315⁰ und 135⁰, mit + 90⁰ jener zwischen 90⁰ und 270⁰, mit — 90⁰ endlich jener zwischen 270⁰ und 90⁰ gegeben, und es fallen alle Drehungen zwischen 0⁰ und + 90⁰, 0⁰ und — 90⁰.

Fig. 237.



297 **Ermittelung der einfach oder doppelt brechenden Eigenschaft.** Um zu bestimmen, ob ein Object einfach oder doppelt bricht, bringt man dasselbe, während sich Polarisator und Analysator in gekreuzter Stellung befinden, in das Sehfeld und dreht es um seine auf der Einstellebene senkrechte Achse. Bleibt das Sehfeld, während man die Drehung vollzieht, in allen seinen Theilen dunkel, so darf man nur dann auf einfache Brechung schliessen, wenn das Object eine gewisse Ausdehnung besitzt. Ist diese eine geringere, haben wir z. B. den Querdurchschnitt einer sehr feinen Röhre oder Faser vor uns, so bleibt die Entscheidung zu treffen zwischen **einfach brechend** und **optisch einachsig** mit einer der Achse des Mikroskopes parallelen Stellung der optischen Achse. Wir müssen deshalb — und es ist jedenfalls gut, denselben selbst bei ausgedehnteren Objecten niemals zu versäumen — zu einem Controlversuche schreiten. Der Gegenstand wird in einer zu der vorigen senkrechten Lage unter das Mikroskop gebracht, d. h. wenn man ihn vorher in seinem Querschnitte beobachtete, betrachtet man ihn jetzt in seinem Längsschnitte. Bleibt das Sehfeld unter allen Umständen absolut dunkel, so ist man zu dem Schlusse berechtigt, dass man es mit einem einfach brechenden Körper zu thun habe.

Die einzige Möglichkeit einer Täuschung, die auch jetzt noch unterlaufen könnte, beruht auf dem Umstande, dass es oft schwierig wird, die niedrigsten Interferenzfarben der ersten Ordnung von dem Tone des dunklen Sehfeldes zu unterscheiden. Hat man nämlich sehr schwach brechende Objecte oder sehr zarte Schnitte, welche zur Beobachtung gelangen, so kann es vorkommen, dass vermöge des durch sie hervorgerufenen geringen Gangunterschiedes der interferirenden Strahlen nur die niedrigsten in verschiedenen Abstufungen eines ziemlich matten, dunklen Grau sich bewegenden Farben der Newton'schen Farbenringe auftreten und gänzlich übersehen würden.

Um bei Lösung obiger Frage sicher zu gehen, schaltet man zwischen Object und Polarisator ein Krystallplättchen von bekannter Farbe, d. h. eines der schon erwähnten verzögernden Plättchen, ein und sieht zu, ob der gefärbte Grund des Gesichtsfeldes nicht in irgend einer Weise durch den Beobachtungsgegenstand geändert wird. Bleibt derselbe auch während der Drehung und in jeder Lage des Gegenstandes unverändert, so darf man, da sich bei der Anwendung solcher verzögernder Plättchen auch noch sehr geringe Spuren von Doppelbrechung verrathen, wohl jede Täuschung für ausgeschlossen halten.

Ein Gypsplättchen vom Roth der ersten Ordnung dürfte im Allgemeinen für mikroskopische Untersuchungen das geeignetste sein. Die Aenderungen, welche bei dessen Anwendung durch Einschaltung eines zweiten doppelt brechenden Körpers in der Färbung des Sehfeldes hervorgerufen werden, sind nämlich für das Auge sowohl in der aufsteigenden als in der absteigenden Farbenreihe sehr empfindlich und werden äusserst leicht wahrgenommen. Als äusserst empfindlich für schwache Farbenänderungen habe ich auch das Uebergangsviolett 3. O. erkannt, und kann diese Farbe neben dem genannten Roth empfehlen.

Für schwierigere Fälle erweist sich die Anwendung eines „gekreuzten" Gypsplättchens vortheilhaft, welche schon 1855 von Bravais empfohlen worden ist. Zur Herstellung eines solchen verbindet man zwei Gypsplättchen von Roth erster Ordnung an ihren Rändern derart mit einander, dass sich ihre gleichnamigen Elasticitätsachsen unter einem rechten Winkel schneiden. Ein doppelt brechender Körper auf die Grenzlinien beider Plättchen gebracht wird die Farbe des Sehfeldes auf der einen Hälfte zum Steigen, auf der anderen zum Sinken bringen und so einen Farbenunterschied bedingen, der wegen des grösseren Contrastes auch bei schwächerer Färbung leicht wahrgenommen werden kann.

298 **Bestimmung der einachsigen und zweiachsigen Beschaffenheit.** Ob ein organisches Object ein- oder zweiachsig sei, ist schwieriger zu entscheiden als bei den krystallisirten Körpern. Wir arbeiten bei organischen Objecten häufig unter so verwickelten Bedingungen, dass sich für einen bestimmten Entscheid immer nur einzelne, oft ziemlich unbestimmte Anhaltspunkte finden lassen.

In den einfacheren Fällen, welche bei der Untersuchung organischer Elementarorgane vorkommen, und bei denen wir die optische Achse als mit einer der drei Dimensionen des betreffenden Objectes zusammenfallend annehmen dürfen, lässt sich der Entscheid leicht fällen. Er liegt darin, dass, wenn das Object einachsig ist, bei irgend welcher, einer seiner Dimensionen entsprechenden Lage die optische Achse zur Wirkung kommen und die Doppelbrechung nach dieser Richtung hin aufgehoben erscheinen muss, dass dagegen bei zweiachsiger Beschaffenheit in jeder Lage des Objectes Interferenzfarben auftreten. Die einzige Schwierigkeit, welche sich hier geltend macht, liegt darin, dass, wenn die optische Achse bei faserförmigen Körpern mit der Längsachse zusammentrifft und der Querschnitt beobachtet wird, bei einer gewissen Ausdehnung desselben diejenigen Erscheinungen zu Tage kommen können, welche oben bei den senkrecht zur optischen Achse geschnittenen einachsigen Krystallen beschrieben wurden, so dass bei unseren kleinen Objecten ein Unterschied in dem Verhalten von ein- und zweiachsigen Körpern nicht gut festzustellen ist.

Die meisten organischen Elementarorgane sind entweder optisch einachsig mit je einer der drei Ausmessungen entsprechender Achsenrichtung, oder es fallen bei zweiachsiger Beschaffenheit die beiden optischen Achsen für ungleiche Ausmessungen zeigende Elementarorgane in eine, die Längenausmessung und eine Querausmessung oder beide Querdimensionen enthaltende Ebene. In selteneren Fällen tritt auch schiefe Richtung der optischen Achse für einachsige Körper, oder eine Neigung der Achsenebene zu der durch je zwei Ausmessungen bestimmten Schnittebene auf.

299 **Bestimmung der Achsenrichtung und des positiven oder negativen Charakters.** Die einachsige Beschaffenheit vorausgesetzt, fällt die Bestimmung der Achsenrichtung und des positiven oder negativen Charakters in eine einzige Aufgabe zusammen, da die Erscheinungen, welche in Folge der verschiedenen Stellung der optischen Achsen und des wechselnden Charakters unter dem Polarisationsmikroskope beobachtet werden, unmittelbar von einander abhängig sind.

Bei den zweiachsigen Körpern haben wir es in Bezug auf die Lage der optischen Achsen nicht mehr mit so einfachen Verhältnissen zu thun, wie bei den einachsigen. Wir können hier überhaupt nicht die Richtung der Achsen selbst genau bestimmen, sondern nur untersuchen, in welcher von den drei auf einander senkrechten, durch je zwei der räumlichen Dimensionen der betreffenden Objecte bestimmten Ebenen dieselben liegen, wodurch, da immer die Achsen der grössten und kleinsten Elasticität in dieser Ebene enthalten sind, die Richtung der drei Elasticitätsachsen bestimmt ist.

Die Lage der optischen Achsen wie der Elasticitätsachsen steht wie bei den Krystallen, so bei den organischen Objecten in bestimmten Be-

ziehungen zu deren Structur und Form, und empfiehlt es sich daher, für dieselbe eine bestimmte, möglichst vereinfachte und den letzteren angepasste Bezeichnungsweise ein- für allemal festzuhalten. Nun sind die Formen, unter denen die Elementarorgane auftreten, immer mehr oder minder jenen des soliden oder hohlen Prismas, Cylinders, Polyëders, der Hohl- oder Vollkugel ähnlich oder auf dieselben zurückführbar, und wir können uns die Achsenrichtung bei senkrechter Stellung mit einer der drei Ausmessungen zusammenfallend oder ihr parallel verlaufend denken. Da wir uns das Prisma als in einem Cylinder beschrieben denken können, so fällt in beiden Körpern die Längsachse zusammen und es entspricht die mit den Seitenflächen des ersteren parallele Richtung den mit diesen gleichgerichteten Tangenten des Cylindermantels, die auf jenen senkrechte dem Radius. Es wird daher für das Verständniss ausreichen, wenn wir die drei Achsenrichtungen für alle faserartigen Gebilde als axial oder senkrecht, als tangential und als radial bezeichnen, während von den die Mittellinie der zweiachsigen Objecte aufnehmenden Ebenen die eine als Diametral-, die andere als Tangential-, die dritte als Querschnittebene erscheint.

Betrachten wir das Verhalten der drei Körperformen näher, so kommen für das Prisma und den Cylinder die aufrechte und liegende Stellung, also für mikroskopische Präparate der Querschnitt und der Längsschnitt oder die Längsansicht des isolirten Elementarorganes in Betracht, während für die Körper mit gleichen Ausmessungen, insbesondere für Polyëder und Kugel keine besondere Lage hervorzuheben sein dürfte.

Wir können hier nicht die Erscheinungen für alle möglichen Körperformen betrachten, sondern müssen uns, da die bei der Untersuchung organischer Objecte am häufigsten vorkommenden Formen sich auf den hohlen oder soliden Cylinder sowie auf die Hohl- und Vollkugel zurückführen lassen, auf diese beiden beschränken, bei denen wir von der Voraussetzung ausgehen, dass dieselben aus concentrisch optisch gleichwerthigen Schichten gebildet, d. h. die Spannungsverhältnisse und die ganze physikalische Constitution derart seien, dass sie in jedem Punkte aller von dem Centrum ausstrahlender Radien in gleicher Weise zum Ausdrucke kommen.

300 Der Cylinder. Unter Voraussetzung einachsiger Beschaffenheit verhält sich der Querschnitt des Cylinders, je nachdem die optische Achse senkrecht, oder radial beziehentlich tangential verläuft, gerade so wie ein zur optischen Achse senkrecht oder parallel geschnittenes Krystallplättchen, d. h. er zeigt das dunkle Kreuz und die von Interferenzfarben (bei dünnen Schnitten grauweiss bis gelblichweiss) erhellten Quadranten.

Beobachtet man denselben unter Einschaltung des Gypsplättchens, so tritt an Stelle des schwarzen Kreuzes jetzt ein solches auf, welches die rothe Farbe des Sehfeldes wiedergiebt. Von den zwischen den zwei

neutralen Durchmessern liegenden Quadranten zeigen die beiden unter + 45^0, ebenso die unter — 45^0 orientirten, die gleichen, also Additions- oder Subtractionsfarben, welche einerseits von der Richtung der optischen Achsen, andererseits von dem positiven oder negativen Charakter des betreffenden Objectes derart abhängig sind, dass radiale Richtung der optischen Achse und positiver Charakter die gleichen Interferenzfarben in denselben Quadranten bedingen, wie tangentiale Richtung der Achse und negativer Charakter und umgekehrt. Der Querschnitt des doppelt brechenden Cylinders ist also für sich allein keineswegs hinreichend, um mit Sicherheit über die Richtung der optischen Achse, oder über den Charakter eines Objectes zu entscheiden, solange nicht e i n e s dieser Verhältnisse bekannt ist.

Für die Beobachtung des Längsschnittes oder des liegenden Cylinders, den wir uns als aus einer unendlich grossen Anzahl parallel zur Achse geschnittener nahezu parallelflächiger oder doch nur schwach keilförmiger Plättchen zusammengesetzt vorstellen können, zeigen einerseits die optisch wirksamen Elemente in jedem Radius desselben eine andere Neigung gegen die Achse des Polarisationsmikroskopes, wie gegen die Achsenebene des verzögernden Plättchens, während andererseits die parallele Verdoppelung zur Geltung kommt und es lassen sich demgemäss die auftretenden Erscheinungen aus den auf Seite 456 u. f. betrachteten ableiten.

Bei a x i a l e m Verlaufe der optischen Achse zeigt der ganze Cylinder während der Drehung um eine senkrechte Achse unter den Durchmessern + und — 45^0 sich mit Streifen von Interferenzfarben bedeckt, welche je nach der Dicke der Wandung sich in den niederen oder höheren Ordnungen bewegen, indem sie am Rande beginnen, erst (bei geringer Breite) rasch, dann (bei etwas grösser werdender Breite) langsamer in der N e w t o n'schen Scala steigen und endlich ein verschiedenes Verhalten zeigen, je nachdem wir einen Hohl- oder Vollcylinder beobachten. Bei ersterem erscheint der grösste Theil der Mitte des Cylinders nur von einer einzigen und zwar der höchsten Interferenzfarbe bedeckt, bei letzterem von da ab, wo der Hohlraum zur Ansicht kommt, ein rasches, meist unregelmässiges Sinken der Interferenzfarben ein, so dass die Farbe der Mitte, wo nur die dem Beobachter zu- und abgewendeten Wandstücke zur Geltung kommen, gegen die höchste des Randbezirkes um einige bis mehrere Töne zurücksteht. Nach Einschaltung eines Gypsplättchens steigen bei p o s i t i v e m Charakter und Orientirung des liegenden Cylinders unter + 45^0 die in Addition befindlichen Interferenzfarben vom Rande aus gegen die Mitte, während dieselben bei der Orientirung unter — 45^0 in derselben Richtung in Subtraction bis dahin sinken, wo sich die beiden gleichen Farben des Gypsgrundes und des (ohne Gypsplättchen beobachteten) Objectes löschen, und dann, immer noch in Subtraction befindlich, wieder steigen, so dass, abgesehen von den für den Hohlcylinder leicht zu bemessenden Abweichungen, die Mitte die höchste Farbe

zeigt. Der negative Charakter bedingt auch hier, wie bei dem Querschnitte, eine Vertauschung der Interferenzfarben, so dass unter + 45° Subtractionsfarben, unter — 45° Additionsfarben auftreten. Verläuft die optische Achse radial, so erscheint der unter + 45° oder — 45° orientirte Cylinder mit Interferenzstreifen bedeckt, deren Farben vom Rande aus schnell bis zu einem gewissen Bezirke hin steigen und dann für den Vollcylinder in minder rascher, für den Hohlcylinder in rascherer Folge bis zu einem mittleren neutralen Streifen zurückgehen. Auf einem Gypsplättchen steigen bei positivem Charakter und in der Lage — 45° die Farben in Addition vom Rande aus rasch, und gehen dann bis zur Mitte zurück, wo ein die Farbe des Gesichtsfeldes wiedergebender Streifen erscheint. Bei der Orientirung im Durchmesser von + 45° dagegen findet in Subtraction zuerst ein Sinken, dann ein rasches Steigen, hierauf nochmals ein Sinken und endlich ein Steigen der Farben bis zur Mitte statt. Der negative Charakter bedingt eine Vertauschung der Interferenzfarben. Der tangentiale Verlauf der optischen Achse veranlasst, wie leicht einzusehen, etwa dieselben Farbenerscheinungen, wie derjenige mit senkrecht gerichteter optischer Achse. Derselbe ist mit farbigen Interferenzstreifen bedeckt, an beiden Rändern aber, da hier die senkrecht stehende optische Achse zur Wirkung kommt, dunkel. Von dem dunkelen Rande aus, der durch die niedrigsten Töne der Farben erster Ordnung, die nur schwer unterscheidbar sind, noch etwas verbreitert wird, steigen die Farben nach der Mitte. Ueber dem Gypsplättchen befinden sich, während die Ränder die Farbe des Sehfeldes wiedergeben, die Interferenzfarben unter + 45° in Subtraction, unter — 45° in Addition, und der negative Charakter macht sich durch die Vertauschung der Additions- und Subtractionsfarben bei + und — 45° geltend.

Geht die optische Achse nicht parallel mit Achse, Radius oder Tangente dahin, so kommen drei Fälle in Betracht. Steht die im Tangentialschnitt liegende optische Achse senkrecht auf dem Radius und schneidet die Längsachse unter einem halben rechten Winkel, so erscheint bei der Orientirung unter 45° auf dem Hohl- und Vollcylinder eine neutrale Linie, indem in dieser sich die homologen Schwingungsebenen der unteren und oberen Hälfte des Cylinders unter rechtem Winkel kreuzen. Die Interferenzfarben am Rande, wie nach der Mitte hin, werden aber das gleiche Verhalten zeigen, d. h. je nach dem positiven oder negativen Charakter des Objectes sich in Addition oder Subtraction befinden, was auch für den Fall gilt, dass jener Winkel weniger als 45° beträgt. Steigt der Neigungswinkel über 45° hinaus, so tritt zwischen Randtheilen und Mitte ein ungleiches Verhalten ein. Befinden sich dort die Interferenzfarben in Addition, so erscheinen sie hier in Subtraction und umgekehrt, je nachdem das Object von verschiedenem Charakter ist. Kommt an Stelle des Vollcylinders oder des dickwandigen Cylinders ein solcher mit dünnen Wandungen, so treten in letzterem Falle in einer, dem Neigungswinkel entsprechenden Entfernung von der

Mitte aus zwei neutrale Streifen auf, welche entweder das dunkele Sehfeld oder den rothen Gypsgrund wiedergeben. Der Querschnitt verhält sich jetzt in keiner Lage und unter keinen Umständen gleich einem einfach brechenden Körper, sondern zeigt das bekannte neutrale Kreuz. Fällt die optische Achse in den Diametralschnitt und ist zur Längsachse geneigt, so zeigt sich auf dem Querschnitt das Polarisationskreuz, wie bei senkrecht radialer Richtung der Achse. Auf dem Längsschnitt kommt aber die neutrale Mittellinie nicht zum Vorschein, und die Interferenzstreifen zeigen eine nicht genau bestimmte, der Newton'schen Scala entsprechende Folge. Ist die optische Achse in dem senkrechten Querschnitte gelegen, so erscheint auf dem Querschnitte des Cylinders ein Polarisationskreuz, dessen Arme nicht mit den Projectionen der Polarisationsebenen zusammenfallen, sondern eine, je nach der Grösse des Neigungswinkels der Achse verschiedene Neigung gegen dieselben haben. Der liegende Cylinder ist ganz mit Interferenzstreifen bedeckt, welche zu beiden Seiten der Mitte symmetrisch geordnet sind, da je zwei diagonal einander gegenüberliegende Quadranten die gleiche Wirkung hervorbringen. Die Folge der Farben ist indessen nicht gleich der des Cylinders mit senkrechter radialer Achse, d. h. sie fällt nicht mit jener der Newton'schen Ringe zusammen. Liegt endlich die optische Achse in keiner der drei Schnittebenen, so beobachtet man auf dem Querschnitt ein gegen die Polarisationsebenen schief gestelltes Kreuz und der Längsschnitt oder der liegende Cylinder erscheint mit unregelmässig angeordneten in ihrer Folge nicht bestimmten Farbenstreifen bedeckt.

301 Besitzt der Cylinder zweiachsige Beschaffenheit, mit in den drei Richtungslinien hingehenden Elasticitätsachsen, so haben wir in dem Querschnitte dasselbe Verhalten wie bei dem einachsigen und es hängen dabei die nach Einschaltung des Gypsplättchens in je zwei diagonal gegenüberstehende Quadranten auftretenden Additions- oder Subtractionsfarben einestheils von den zur Wirkung kommenden Elasticitätsachsen, anderentheils von dem positiven oder negativen Charakter des Objectes ab.

Für den liegenden Cylinder ändern sich die Farbenerscheinungen, wenn auch nicht ihrem Wesen, so doch ihrer leichter und genauer zu bestimmenden Folge nach, je nach der Dicke der Wandung.

Ist die Wanddicke nur unbedeutend, so erscheint der Cylinder unter + oder — 45° orientirt, von den niedrigsten Tönen der Interferenzfarben erster Ordnung erhellt, wenn die Achsenebene entweder in einem Diametral-, oder in einem Tangentenschnitte liegt. Fällt die letztere in den Querschnitt, so kommen, da wir die Folge jener Farbenerscheinungen haben, welche auftreten, wenn man ein senkrecht zur Achsenebene geschnittenes zweiachsiges Krystallplättchen aus der senkrechten Stellung in die horizontale zurückdreht, zwischen den beiden

Rändern und der Mittellinie des Cylinders zwei neutrale Streifen zum Vorschein, welche je nach dem Achsenwinkel eine verschieden weite Entfernung von den ersteren haben können.

Werden die Wände des Hohlcylinders dicker, oder geht dieser in den Vollcylinder über, so treten je nach der Lage der drei Elasticitätsachsen bestimmte, genau zu verfolgende Farbenerscheinungen auf, welche bei einer combinirten Beobachtung des Querschnittes und des liegenden Cylinders einen sicheren Schluss auf die Lage der Elasticitätsachsen zulassen. Fällt die Achsenebene in den Radialschnitt und ist die Mittellinie parallel der Cylinderachse, so haben wir für den dickwandigen Hohl- und den Vollcylinder analoge Erscheinungen, wie bei dem einachsigen Cylinder mit senkrechter Stellung der optischen Achse. Wird das Verhalten von Quer- und Längsschnitten auf dem Gypsplättchen im Zusammenhang betrachtet, so zeigt der erstere bei positivem Charakter unter + 45° Additionsfarben, unter — 45° Subtractionsfarben, der letztere in den beiden dem Durchmesser von + 45° entsprechenden Quadranten Subtractionsfarben, in den beiden anderen Quadranten aber Additionsfarben, und der negative Charakter bedingt eine Vertauschung der Farben im Längs- und Querschnitt. Geht bei derselben Lage der Achsenebene die Mittellinie radial dahin, so treten über die Oberfläche des Cylinders einestheils ähnliche Farbenerscheinungen auf, wie wenn man ein dünnes zweiachsiges, parallel zur Mittellinie geschliffenes Krystallplättchen um eine auf der Mittellinie senkrechte, in der Achsenebene gelegene horizontale Achse gedreht habe, anderentheils wirkt die Verdickung in der Weise wie bei dem einachsigen Cylinder mit radial gestellter Achse. Der liegende Cylinder zeigt daher, mag man ihn für sich allein oder nach der Einschaltung eines Gypsplättchens beobachten, eine analoge Farbengebung und Farbenvertheilung wie der letzterwähnte. Im Querschnitte haben wir für den positiven Charakter dieselbe Farbenerscheinung in den Quadranten wie bei dem negativen im vorigen Falle und umgekehrt. Liegt die Achsenebene in dem Tangentenschnitt mit tangential gerichteter Mittellinie und radial gestellter Achse der mittleren Elasticität, so zeigt der liegende Cylinder dieselbe Anordnung der Interferenzfarben wie der einachsige Cylinder mit tangential gerichteter optischer Achse, nur mit dem Unterschiede, dass, da nirgends eine der optischen Achsen zur Wirkung gelangt, die Interferenzfarben schon am Rande beginnen. Auf einem Gypsplättchen befinden sich die Interferenzfarben auf dem liegenden Cylinder in der Orientirung unter + 45° und bei positivem Charakter in Subtraction, unter — 45° in Addition. Der Querschnitt besitzt unter gleicher Voraussetzung in dem Durchmesser von + 45° zwei Subtractionsquadranten, unter jenem von — 45° zwei Additionsquadranten. Der negative Charakter bedingt die Vertauschung der Interferenzfarben sowohl im liegenden Cylinder, wie im Querschnitt. Verläuft bei der eben beschriebenen Lage der Achsenebene die Mittellinie parallel der Cylinderachse, so wird das Ver-

halten des liegenden Cylinders in Bezug auf die Anordnung der Interferenzstreifen ein gleiches, wie wir es im zweiten Falle für die im Diametralschnitt liegende Achsenebene geschildert haben. Der Farbencharakter des auf einem Gypsplättchen liegenden Cylinders für die Orientirungen + 45° und — 45°, ebenso die Vertheilung der Quadranten in dem Querschnitte sind für positiven und negativen Charakter des Objectes gegen die im vorigen Falle bei tangentialem Verlaufe der Mittellinie beobachteten vertauscht. Ist die Achsenebene in dem Querschnitte enthalten, so zeigt der liegende Cylinder zu beiden Seiten der Mittellinie des Cylinders einen neutralen Streifen, dessen Entfernung von jener theils von dem Achsenwinkel, theils von der Lage der Mittellinie im Radius oder in der Tangente abhängig ist. Zwischen den beiden Rändern und den neutralen Streifen sinken die Interferenzfarben und steigen von letzteren aus bis zur Mitte, die je nach der Lage der Mittellinie eine höhere oder tiefere Farbe haben kann, als der am höchsten gefärbte Interferenzstreifen des Randes. Auf einem Gypsplättchen zeigt der liegende Cylinder, bei positiver Beschaffenheit und unter + 45° orientirt, zwischen dem Cylinderrand und den neutralen, den rothen Grund wiedergebenden Streifen Additionsfarben, wenn die Mittellinie radial, Subtractionsfarben, wenn sie tangential gerichtet ist. Zwischen dem neutralen Streifen und der Mittellinie erscheinen im einen Falle Subtractions-, im anderen Additionsfarben. Die Orientirung unter — 45° sowie der negative Charakter bedingen in beiden Fällen eine Vertauschung des Farbencharakters. Auf dem Querschnitte befinden sich bei radialer Richtung der kleinsten Elasticitätsachse die dem Durchmesser von + 45° entsprechenden Quadranten in Addition, jene dem Durchmesser von — 45° entsprechenden in Subtraction. Ist dagegen die grösste Elasticitätsachse radial gestellt, so findet eine Vertauschung der Quadranten statt. Die früheren Additionsquadranten werden zu Subtractionsquadranten und umgekehrt.

Bei geneigter Stellung je zweier oder aller drei Elasticitätsachsen haben wir folgende Fälle zu berücksichtigen.

Ist die mittlere Elasticitätsachse radial gestellt und die in dem Tangentenschnitt liegende kleinste und grösste schneiden die Längsachse des Cylinders unter schiefen Winkeln, so treten dieselben Farbenerscheinungen auf, die wir für den einachsigen Cylinder mit die Längsachse schneidender optischer Achse kennen gelernt haben. Trifft die Achse der grössten Elasticität mit dem Radius zusammen und es schneiden die in dem Tangentenschnitt gelegenen Achsen der kleinsten und mittleren Elasticität die Cylinderachse unter schiefen Winkeln, so haben wir am Rande und auf der Mitte des Cylinders die gleichen Farbencharaktere, wenn der Winkel zwischen der kleinsten Elasticitäts- und Cylinderachse kleiner als 45° ist, es tritt dagegen zwischen Rand und Mitte ein Wechsel in dem Farbencharakter ein, wenn dieser Winkel die Grösse von 45° übersteigt. Im Querschnitte haben wir für den posi-

tiven und negativen Charakter in den Quadranten + 45° Subtractionsfarben, in jenen — 45° Additionsfarben, da diese lediglich durch die grösste Elasticitätsachse bestimmt werden. Verläuft die Achse der kleinsten Elasticität radial und es schneiden die beiden in dem Tangentialschnitt gelegenen Achsen der grössten und mittleren Elasticität die Cylinderachse unter schiefen Winkeln, so stimmt der Farbencharakter am Rande und auf der Mitte überein, wenn jener Winkel weniger als 45° beträgt und geht zu einem entgegengesetzten über, wenn derselbe grösser als 45° wird. Auf dem Querschnitte, dessen Quadranten jetzt hauptsächlich durch die Achse der kleinsten Elasticität bestimmt werden, haben wir in den beiden unter + 45° Additionsfarben, in jenen unter — 45° Subtractionsfarben. Werden die beiden, Cylinderachse und Radius unter schiefen Winkeln schneidenden Elasticitätsachsen von dem Radialschnitt aufgenommen und es verläuft die dritte Elasticitätsachse in der Tangente des Cylinders, so fallen auch hier die drei Unterfälle in ihrem Verhalten zusammen, d. h. die Interferenzfarben sind weder ihrer Reihenfolge nach bestimmt, noch zeigen sie eine gleichmässige Anordnung über die einander entsprechenden Stellen der zugekehrten Cylinderoberfläche. Der Querschnitt lässt unter allen Umständen ein neutrales, den rothen Grund wiedergebendes, den Projectionen der Polarisationsebenen entsprechendes Kreuz beobachten, und die zwischenliegenden Quadranten können sich in Addition oder Subtraction befinden, je nachdem die Achse grösserer oder kleinerer Elasticität mit der Tangente parallel gerichtet ist. Verläuft die eine der Elasticitätsachsen parallel mit der Cylinderachse und die beiden anderen in den Querschnitt fallenden schneiden Radius und Tangente unter schiefen Winkeln, so sind die Interferenzfarben, gleichgültig, welche der drei Elasticitätsachsen der ersteren Richtung entspricht, in der Oberfläche des unter + 45° oder — 45° orientirten liegenden Cylinders gleichmässig über dessen beiden Hälften vertheilt, da je zwei einander diametral gegenüberstehende Quadranten die gleiche optische Wirkung äussern. In der Stellung unter 0° und 90° erscheint der Cylinder neutral, da hier die Schwingungsebenen mit den Polarisationsebenen zusammenfallen. Auf dem Querschnitte beobachtet man ein neutrales Kreuz mit Additions- und Subtractionsquadranten, und die Arme des ersteren schneiden die Projectionen der Polarisationsebenen unter schiefen Winkeln. Welche zwei von den einander gegenüberstehenden Quadranten Additions- oder Subtractionsfarben zeigen, hängt davon ab, welche von den beiden in dem Querschnitte liegenden Elasticitätsachsen mit dem Radius den kleinsten Winkel macht. Sind die drei Elasticitätsachsen sowohl gegen den Radius wie gegen die Tangente und die Längsachse des Cylinders geneigt, so erscheint derselbe in liegender Stellung mit Interferenzstreifen bedeckt, die weder ihrer Folge nach bestimmt sind, noch in ihrer Anordnung über die beiden Hälften der zugekehrten Mantelfläche Gleichmässigkeit zeigen. Der Querschnitt giebt ein

halten des liegenden Cylinders in Bezug auf die Anordnung der Interferenzstreifen ein gleiches, wie wir es im zweiten Falle für die im Diametralschnitt liegende Achsenebene geschildert haben. Der Farbencharakter des auf einem Gypsplättchen liegenden Cylinders für die Orientirungen + 45⁰ und — 45⁰, ebenso die Vertheilung der Quadranten in dem Querschnitte sind für positiven und negativen Charakter des Objectes gegen die im vorigen Falle bei tangentialem Verlaufe der Mittellinie beobachteten vertauscht. Ist die Achsenebene in dem Querschnitte enthalten, so zeigt der liegende Cylinder zu beiden Seiten der Mittellinie des Cylinders einen neutralen Streifen, dessen Entfernung von jener theils von dem Achsenwinkel, theils von der Lage der Mittellinie im Radius oder in der Tangente abhängig ist. Zwischen den beiden Rändern und den neutralen Streifen sinken die Interferenzfarben und steigen von letzteren aus bis zur Mitte, die je nach der Lage der Mittellinie eine höhere oder tiefere Farbe haben kann, als der am höchsten gefärbte Interferenzstreifen des Randes. Auf einem Gypsplättchen zeigt der liegende Cylinder, bei positiver Beschaffenheit und unter + 45⁰ orientirt, zwischen dem Cylinderrand und den neutralen, den rothen Grund wiedergebenden Streifen Additionsfarben, wenn die Mittellinie radial, Subtractionsfarben, wenn sie tangential gerichtet ist. Zwischen dem neutralen Streifen und der Mittellinie erscheinen im einen Falle Subtractions-, im anderen Additionsfarben. Die Orientirung unter — 45⁰ sowie der negative Charakter bedingen in beiden Fällen eine Vertauschung des Farbencharakters. Auf dem Querschnitte befinden sich bei radialer Richtung der kleinsten Elasticitätsachse die dem Durchmesser von + 45⁰ entsprechenden Quadranten in Addition, jene dem Durchmesser von — 45⁰ entsprechenden in Subtraction. Ist dagegen die grösste Elasticitätsachse radial gestellt, so findet eine Vertauschung der Quadranten statt. Die früheren Additionsquadranten werden zu Subtractionsquadranten und umgekehrt.

Bei geneigter Stellung je zweier oder aller drei Elasticitätsachsen haben wir folgende Fälle zu berücksichtigen.

Ist die mittlere Elasticitätsachse radial gestellt und die in dem Tangentenschnitt liegende kleinste und grösste schneiden die Längsachse des Cylinders unter schiefen Winkeln, so treten dieselben Farbenerscheinungen auf, die wir für den einachsigen Cylinder mit die Längsachse schneidender optischer Achse kennen gelernt haben. Trifft die Achse der grössten Elasticität mit dem Radius zusammen und es schneiden die in dem Tangentenschnitt gelegenen Achsen der kleinsten und mittleren Elasticität die Cylinderachse unter schiefen Winkeln, so haben wir am Rande und auf der Mitte des Cylinders die gleichen Farbencharaktere, wenn der Winkel zwischen der kleinsten Elasticitäts- und Cylinderachse kleiner als 45⁰ ist, es tritt dagegen zwischen Rand und Mitte ein Wechsel in dem Farbencharakter ein, wenn dieser Winkel die Grösse von 45⁰ übersteigt. Im Querschnitte haben wir für den posi-

tiven und negativen Charakter in den Quadranten + 45° Subtractionsfarben, in jenen — 45° Additionsfarben, da diese lediglich durch die grösste Elasticitätsachse bestimmt werden. Verläuft die Achse der kleinsten Elasticität radial und es schneiden die beiden in dem Tangentialschnitt gelegenen Achsen der grössten und mittleren Elasticität die Cylinderachse unter schiefen Winkeln, so stimmt der Farbencharakter am Rande und auf der Mitte überein, wenn jener Winkel weniger als 45° beträgt und geht zu einem entgegengesetzten über, wenn derselbe grösser als 45° wird. Auf dem Querschnitte, dessen Quadranten jetzt hauptsächlich durch die Achse der kleinsten Elasticität bestimmt werden, haben wir in den beiden unter + 45° Additionsfarben, in jenen unter — 45° Subtractionsfarben. Werden die beiden, Cylinderachse und Radius unter schiefen Winkeln schneidenden Elasticitätsachsen von dem Radialschnitt aufgenommen und es verläuft die dritte Elasticitätsachse in der Tangente des Cylinders, so fallen auch hier die drei Unterfälle in ihrem Verhalten zusammen, d. h. die Interferenzfarben sind weder ihrer Reihenfolge nach bestimmt, noch zeigen sie eine gleichmässige Anordnung über die einander entsprechenden Stellen der zugekehrten Cylinderoberfläche. Der Querschnitt lässt unter allen Umständen ein neutrales, den rothen Grund wiedergebendes, den Projectionen der Polarisationsebenen entsprechendes Kreuz beobachten, und die zwischenliegenden Quadranten können sich in Addition oder Subtraction befinden, je nachdem die Achse grösserer oder kleinerer Elasticität mit der Tangente parallel gerichtet ist. Verläuft die eine der Elasticitätsachsen parallel mit der Cylinderachse und die beiden anderen in den Querschnitt fallenden schneiden Radius und Tangente unter schiefen Winkeln, so sind die Interferenzfarben, gleichgültig, welche der drei Elasticitätsachsen der ersteren Richtung entspricht, in der Oberfläche des unter + 45° oder — 45° orientirten liegenden Cylinders gleichmässig über dessen beiden Hälften vertheilt, da je zwei einander diametral gegenüberstehende Quadranten die gleiche optische Wirkung äussern. In der Stellung unter 0° und 90° erscheint der Cylinder neutral, da hier die Schwingungsebenen mit den Polarisationsebenen zusammenfallen. Auf dem Querschnitte beobachtet man ein neutrales Kreuz mit Additions- und Subtractionsquadranten, und die Arme des ersteren schneiden die Projectionen der Polarisationsebenen unter schiefen Winkeln. Welche zwei von den einander gegenüberstehenden Quadranten Additions- oder Subtractionsfarben zeigen, hängt davon ab, welche von den beiden in dem Querschnitte liegenden Elasticitätsachsen mit dem Radius den kleinsten Winkel macht. Sind die drei Elasticitätsachsen sowohl gegen den Radius wie gegen die Tangente und die Längsachse des Cylinders geneigt, so erscheint derselbe in liegender Stellung mit Interferenzstreifen bedeckt, die weder ihrer Folge nach bestimmt sind, noch in ihrer Anordnung über die beiden Hälften der zugekehrten Mantelfläche Gleichmässigkeit zeigen. Der Querschnitt giebt ein

zwar rechtwinkliges, aber gegen die Projectionen der Polarisationsebenen geneigtes Kreuz und die Quadranten, deren Farbencharakter von den darin zur Geltung kommenden Elasticitätsachsen abhängig ist.

302 Die Kugel. In der einachsigen Kugel können wir uns die senkrechte und radiale Richtung der optischen Achse in der letzteren zusammenfallend denken, so dass in dieser Beziehung nur zwischen radial und tangential zu unterscheiden wäre. Da aber die letztere Richtung bei den nach allen möglichen Dimensionen des Raumes ausstrahlenden Radien eine stets wechselnde ist, so bietet die Vorausbestimmung der statthabenden Erscheinungen ausserordentliche Schwierigkeiten dar, so dass wir uns auf die Betrachtung der Kugel mit radialem Verlaufe der optischen Achse beschränken müssen. Beobachten wir diese letztere auf dem dunkelen Sehfelde, so erhalten wir in dem zugekehrten Pole, da in demselben die optische Achse zur Wirkung kommt und in dessen nächster Umgebung nur die niedrigsten Töne der Farbenringe auftreten, Dunkelheit, und von da aus ein in den Richtungen unter 0^0 und 90^0 dahingehendes dunkeles Kreuz. Die zwischen dessen Armen liegenden Quadranten sind von Interferenzfarben erhellt, die nach den Durchmessern unter $+ 45^0$ und $- 45^0$ hin an Intensität zunehmen und in diesen ihren höchsten Glanz erlangen. Die Farben selbst haben dieselbe Folge, wie in dem liegenden Cylinder mit radial gestellter Achse, d. h. es steigen dieselben von dem Rande aus bis zu einer gewissen Zone der zugekehrten Oberfläche und gehen dann langsam zurück bis zu dem indifferenten Mittelpunkte. Nach der Einschaltung des Gypsplättchens geben die neutrale Mitte und das Kreuz die Farbe desselben wieder. Der positive Charakter bedingt in den beiden dem Durchmesser $+ 45^0$ entsprechenden Quadranten das Auftreten von Additionsfarben, in den anderen beiden dem Durchmesser von $- 45^0$ zugehörigen das Erscheinen von Subtractionsfarben. Der negative Charakter ruft eine Vertauschung dieser Farben hervor.

Die optisch zweiachsige Kugel verhält sich für sich, wie nach der Einschaltung eines verzögernden Plättchens, ebenso wie eine einachsige Kugel mit radial gestellter optischer Achse. Wir erhalten auf dem dunkelen Gesichtsfelde das dunkele Kreuz mit den den Durchmessern von + und $- 45^0$ entsprechenden, von Interferenzfarben erhellten Quadranten, nach der Einschaltung eines verzögernden Plättchens das rothe Kreuz mit den einander diametral gegenüberstehenden Additions- und Subtractionsquadranten, deren Farbencharakter durch den positiven oder negativen Charakter des Objectes bedingt wird.

V. Die Anwendung des prismatisch zerlegten Lichtes.

1. Anwendung des prismatisch zerlegten gewöhnlichen Lichtes. Mikro-Spectralanalyse.

Das Absorptionsspectrum. Die Spectralanalyse ist als Absorptionsanalyse in den letzten Jahrzehnten bei mikroskopischen Untersuchungen, namentlich über die Pflanzenfarbstoffe etc. vielfach in Anwendung gebracht worden und hat für die Histologie als Hülfsmittel der mikroskopischen Beobachtung eine hohe Bedeutung erlangt. 303

Dieser besonderen Art der chemischen Analyse liegt die Erscheinung zu Grunde, dass durchsichtige, gewisse — bei gefärbten Körpern in der Regel die zu den in ihre Färbung eingehenden Farben complementären — Farben absorbirende Körper aller drei Aggregatzustände, wenn man sie in den Gang der in ein Prisma oder Prismensystem übergehenden Strahlen weissen, d. h. gemischten Lichtes einschaltet, in dem durch diese Vorrichtungen erzeugten ununterbrochenen (continuirlichen) Spectrum, welches im Ocularspectrum das Roth links, im objectiven Spectrum rechts zeigt, dunkel erscheinende Unterbrechungen hervorrufen, welche man als Absorptionsbanden oder Absorptionsstreifen bezeichnet. Breiten sich diese Unterbrechungen mit anfänglich mehr oder minder langsam und stetig zunehmender Verdunkelung von einer bestimmten Stelle des Spectrums aus nach dem einen (Curcumalösung, Pikrinsäurelösung), oder nach beiden Enden (Lösung von Kupferchlorid) hin aus, so erscheinen sie als einseitige oder zweiseitige „Endabsorptionen“. Steigen dieselben von einer Stelle aus ganz allmälig an, um dann innerhalb des Spectrums ebenso allmälig wieder abzunehmen, dann entstehen in entsprechenden Regionen des letzteren breite, verwaschene Banden, sogenannte „Schatten“, während sie, wenn sie an bestimmten Stellen ziemlich plötzlich zu stärkerer Verdunkelung ansteigen und dann ebenso rasch nach beiden Seiten hin abfallen, in Gestalt von ziemlich scharf begrenzten Banden oder Streifen, im engeren Sinne, auftreten. In den beiden letzten Fällen können dann die Schatten wie die Banden oder Streifen, je nach der Beschaffenheit des absorbirenden Körpers an nur einer (breiteren oder schmäleren), oder an mehreren Stellen des Spectrums entweder für sich auftreten, oder auch in Verbindung mit einseitiger oder zweiseitiger Endabsorption zur Erscheinung kommen.

Das Absorptionsspectrum, welches in der Regel bei verhältnissmässig dünnen Schichten und einer gewissen meist geringeren Concentration der Lösungen am reinsten ausgeprägt und damit am meisten charakteristisch erscheint, erleidet unter dem Einflusse gewisser äusserer Umstände bestimmte Veränderungen, welche bei den einschlägigen Untersuchungen wohl zu beachten sind.

Diese Veränderungen gehen bei Vergrösserung der Schichthöhe, sowie bei Steigerung der Concentration dahin, dass einerseits die Absorptionsbanden, wie die Endabsorptionen sich mehr und mehr ausdehnen und an Dunkelheit zunehmen, andererseits ganz neue Absorptionsbanden auftreten.

Werden die Schichthöhen oder die Concentrationen jede einzeln für sich, oder beide zugleich nach und nach und in gewissem Maasse verringert, so nehmen anfänglich die Banden mehr und mehr an Breite und Dunkelheit ab, dann bleiben bei mehreren Absorptionsbanden nur noch die stärkeren unter diesen sichtbar und es verschwinden endlich auch diese.

Die Beschaffenheit des Lösungsmittels, welches chemisch möglichst indifferent sein und, wenn die Absorption deutlich ausgeprägt erscheinen soll, eine klare ungetrübte Lösung ergeben muss, ändert das Absorptionsspectrum derart, dass bei verschiedenen Lösungsmitteln Endabsorptionen wie Banden um gewisse Entfernungen verschoben werden, schärfer oder minder scharf ausgeprägt erscheinen und bei Vorhandensein mehrerer Banden diese vermehrt oder vermindert werden können. Die Verschiebungen erstrecken sich nach einem von Kundt aufgestellten Gesetze, welchem indessen nicht alle Körper folgen, dahin, dass dieselben um so weiter nach dem Roth hin erfolgen, je grösser der Brechungsindex des Lösungsmittels wird. Auch die Schärfe und Klarheit der Absorption scheint nach mehrfachen Erfahrungen mit dem Brechungsindex in Beziehung zu stehen und ebenso dürfte wohl das Verschwinden vorhanden gewesener, wie das Auftreten neuer Banden, namentlich in den lichtschwächeren Theilen des Spectrums, auf der gleichen Ursache beruhen, d. h. auf Verschiebungen zurückzuführen sein.

Es ist demzufolge und namentlich dann, wenn es sich um numerische Bestimmungen, oder um die Nachprüfung andererseits gefundenen Resultate handelt, bei Beobachtungen der Absorptionsspectren bestimmter Lösungen wohl darauf Rüchsicht zu nehmen, durch welches Mittel die letzteren erzeugt sind und wie sich dessen Brechungsindex demjenigen anderer Mittel gegenüber verhält.

Solche Körper, welche an und für sich ein charakteristisches Absorptionsspectrum nicht liefern, oder deren Absorptionsspectren nicht von einander verschieden sind, wie manche gelbe und andere Farbstoffe und dergleichen, lassen sich durch die Einwirkung chemisch wirkender Mittel häufig in solche Verbindungen überführen, welche ganz bestimmte Absorptionen zeigen und so erkannt oder von einander unterschieden werden können. Wir können hier nur im Allgemeinen erwähnen, dass als derartige unterstützende Medien sowohl Alkalien: Kali-, Ammoniak-, Natronlösung, als alkalische Salze, sowie Säuren und zwar sowohl organische als anorganische zur Verwendung kommen können.

Der Einfluss der Temperatur auf die Gestaltung des Absorptionsspectrums äussert sich bei verschiedenen Körpern verschieden. So giebt

es eine Reihe von Lösungen, z. B. Fuchsin, Carmin, Anilinblau, bei denen Temperaturveränderungen keinerlei Veränderung in den Absorptionen hervorbringen, während solche bei Lösungen anderer Körper, und zwar sowohl unorganischer Salze, wie organischer Verbindungen, in verschiedener Weise bemerkbar werden, indem erstere bei gesteigerter Temperatur eine Verstärkung der Absorption und das Auftreten von Banden erkennen lassen, welche bei niedriger Temperatur nicht beobachtet werden, während bei letzteren gewisse Absorptionen, so z. B. die Banden der gelben Pflanzenfarbstoffe, der Hämatinlösung etc. zum Verschwinden kommen und erst in dem Maasse, als die Lösungen abgekühlt werden, wieder mehr und mehr und endlich bei völliger Abkühlung in voller Schärfe kenntlich hervortreten.

Anwendung der Spectralapparate. Für die spectralanalytischen Untersuchungen ist vor allem recht helles Licht, am besten helles Tageslicht, bei möglichst von Wasserdunst freier Atmosphäre, oder intensives Lampenlicht zu empfehlen. Ausserdem hat man Sorge dafür zu tragen, dass alles störende Seitenlicht möglichst ausgeschlossen wird, was man am besten dadurch erreicht, dass man das Spectromikroskop in dem Flögel'schen Dunkelkasten aufstellt, den ich gerade hier für ein unumgänglich nothwendiges Hülfsmittel für förderliches Arbeiten ansehen muss.

Das Ocularspectrum. Das mittelst des Spectraloculars erzeugte Spectrum findet vorzugsweise da Anwendung, wo es sich um die Beobachtung der Absorptionsspectren von gleichmässig gefärbten, keine morphologische Structuren besitzenden Objecten, also z. B. von Lösungen gewisser pflanzlicher oder thierischer Farbstoffe handelt, deren Bilder den Spalt vollständig oder doch in einer bestimmten Ausdehnung ausfüllen. Ferner ist es mit Vortheil zu verwenden, wenn die Absorption nur einer Substanz studirt werden soll, die sich entweder gelöst (gewisse Blumenfarbstoffe etc.), oder an kleinen Körperchen gebunden und gleichmässig vertheilt in den Zellen der lebendigen Gewebe, von hinreichend durchsichtigen Blättern, Blumenblättern, Algen und dergleichen findet (Chlorophyll, an geformte Protoplasmakörperchen gebundene Farbstoffe etc.), oder in einer Flüssigkeit gleichmässig vertheilt erscheint (Blut). Endlich kann der Apparat auch für solche Untersuchungen in Gebrauch genommen werden, bei denen es sich um die Absorptionen von einzelnen, gefärbten Inhalt führenden Zellen, von Inhaltskörperchen (Farbstoffkörperchen, gefärbte Zellkerne, Hämatinkrystalle etc.) handelt. 304

Für die erstere Art der Untersuchungen bedarf es eines Objectivsystemes an dem Tubus nicht. Man bringt dabei die betreffende Lösung und zwar, um dieselbe in verschiedenen genau bestimmbaren Schichthöhen beobachten zu können, am besten in einen engen graduirten Glascylinder gefüllt über der Tischöffnung an. Um das Seitenlicht abzuhalten,

senkt man den unteren Theil des Cylinders in einen entsprechend durchbohrten Kork von solcher Höhe ein, dass letzterer den Raum zwischen dem in tiefster Stellung befindlichen Tubus und der Ebene des Objecttisches vollständig ausfüllt. Der Gegenstand ist damit zur Beobachtung hergerichtet und es bedarf zur Ausführung der letzteren nichts weiter, als dass man, nachdem man das Licht des Spiegels durch die Flüssigkeit geworfen hat, das Spectralocular einsetzt, die früher erwähnten Regulirungen vornimmt und den Spiegel für die Scala zu der Beleuchtung in die richtige Stellung bringt.

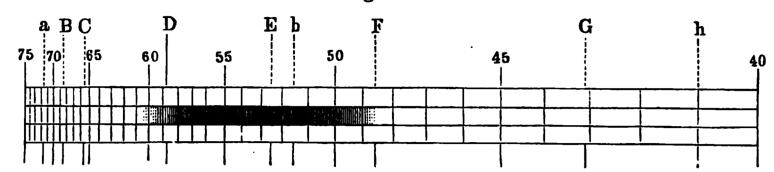
Sollen sehr hohe Flüssigkeitssäulen zur Beobachtung kommen, dann muss der Tubus die erforderliche Verlängerung durch in entsprechender Weise mit demselben zu verbindender Hülfsrohre erfahren, welche man in verschiedenen den Röhrenlängen entsprechenden Längen (50 — 400 mm) zur Hand haben muss.

Bei den Beobachtungen der zweiten Art, die eine recht intensive Durchleuchtung der betreffenden Objecte erfordern (am besten durch eine Mattglasplatte gedämpftes Sonnenlicht), kann man entweder ohne Objectivsystem arbeiten, oder nach Bedürfniss ein schwaches Objectivsystem von etwa 50 bis 30 mm Brennweite verwenden. Man stellt dann, nachdem man das dreh- oder in anderer Weise abnehmbare Prismensystem über dem Ocular entfernt und den Spalt auf seine volle Weite gebracht hat, wie gewöhnlich den betreffenden, auf einem Objectträger befindlichen, nöthigenfalls eingedeckten Gegenstand, ganze Laub- oder Blumenblätter, oder Theile derselben und dergleichen, ausgebreitete Blutschichten etc. zunächst scharf ein und bringt dann das Prisma wieder über das Ocular, während man den Spalt in dem erforderlichen Maasse, d. h. bis zum Sichtbarwerden der stärkeren Fraunhofer'schen Linie verengert. Das Spectralbild ist nun allerdings ein wenig geeignetes, indem dasselbe der Länge nach von einer Menge von dunkelen, durch die scharf eingestellten Umrisse der in den betreffenden Objecten enthaltenen Structuren oder der Einzelkörperchen (Chlorophyllkörperchen, Blutkörperchen etc.) hervorgebrachten, Streifen durchzogen erscheint, welche sowohl die Absorptionsbanden, als die Fraunhofer'sche Linie nur undeutlich und vielfach unterbrochen hervortreten lassen. Um ein gleichmässiges Spectralbild mit scharfen Fraunhofer'schen Linien und deutlichen Absorptionsbanden zu erhalten, müssen wir mit der Einstellung über die eigentliche Objectebene hinaus oder unter dieselbe hinabgehen, so dass wir in dem Spalte nicht mehr einen scharfen Streifen des scharfen Luftbildes der Objecte, sondern eines Diffusionsbildes derselben vor uns und damit den Einfluss der scharfen Umrisse ausgeschlossen haben.

Sollen endlich die Absorptionen des gefärbten Inhalts einzelner Zellen, einzelne Chlorophyll- oder Farbstoffkörperchen, einzelne gefärbte Krystalloide und dergleichen beobachtet werden, dann muss man zu stärkerer, dem Ausmaasse der betreffenden Objecte entsprechenden Objectivvergrösserung schreiten. Man verfährt dann wie in dem vorigen

Falle, beobachtet aber, indem man den Gegenstand möglichst in die Mitte des Sehfeldes gebracht und den Spalt entsprechend verengert und verkürzt hat, bei scharfer Einstellung. Das Absorptionsbild nimmt dann, falls das Luftbild des Objectes nicht die ganze Länge des (verkürzten) Spaltes ausfüllt, einen von zwei Längsstreifen begrenzten, je nach den Ausmaassen des Objectes verschieden breiten Streifen des Spectrums ein (Fig. 238).

Fig. 238.



Will man die Spectralbilder verschieden gefärbter Flüssigkeiten, oder die durch Einwirkung des Lösungsmittels, sowie chemischer Reagentien herbeigeführten Aenderungen in den Absorptionen derselben Substanz mit einander unmittelbar vergleichen, so kommt das Vergleichsprisma zur Anwendung. Man bringt dabei die vor dem letzteren einzuschaltende Lösung in sogenannte Präparatengläschen oder in die bekannten käuflichen Fläschchen mit zwei ebenen Seitenflächen von einem der Aufnahmevorrichtung angepassten Durchmesser und trägt dabei Sorge dafür, dass der Concentrationsgrad, wie die Schichthöhe der Lösungen vor dem Vergleichsprisma und vor dem Tubus beziehungsweise gleiche Wirkung äussern, was annähernd dann erreicht ist, wenn bei durchfallendem Licht die Färbung in beiden Gefässen gleichen Ton und gleiche Intensität zeigt. Liegen Scalenrohr und Spiegelarm vor dem Vergleichsprisma nicht in derselben senkrechten Ebene, also so, wie z. B. bei dem Zeiss'schen Spectralocular, dann setzt man dieses so ein, dass die Halbirungslinie des Winkels, welche erstere mit einander machen, auf die Lichtquelle gerichtet ist.

305 Das objective Spectrum. Schon bevor das Spectralocular erfunden war, wurde das objective Spectrum, und zwar zunächst bei der Untersuchung des Blutes, in der Mikro-Spectralanalyse verwendet, und es wurden dabei die Absorptionen dadurch festgestellt, dass das Spectrum durch Aenderung der Stellung des reflectirenden Apparates unter dem Objecte durchgeführt, d. h. das Sehfeld durch die verschiedenen Spectralfarben beleuchtet und beobachtet wurde, in welchem Farbenbezirke der Gegenstand nicht mehr seine natürliche Färbung erkennen liess, sondern mehr oder minder dunkel bis schwarz erschien. Diese Vorrichtungen waren indessen nur Nothbehelfe und erst mittelst des von Dr. Hartnack construirten Apparates (Handbuch S. 603) liess sich bequemer arbeiten, obwohl auch dieser in Folge davon, dass er nur ein Projectionslinsen-

system (achromatische Doppellinse) besass und ihm die Messungsvorrichtungen fehlten, noch manche Mängel zeigte und Unbequemlichkeiten mit sich führte. Genauere und bei schwächeren, wie stärkeren Vergrösserungen ausführbare Beobachtungen im objectiven Spectrum gestatten nur so vollkommene, durch Ausschaltung des polarisirenden Prismas in einfache Spectralapparate umzuwandelnde Apparate, wie sie zur Zeit in dem Rolett'schen, namentlich aber in dem Abbe'schen Spectropolarisator vorliegen.

Was nun den Gebrauchsumfang des objectiven Spectrums und damit der genannten Spectralvorrichtungen, welche für eine Reihe von physiologischen Untersuchungen von höchster Bedeutung werden können, wie dies die schönen Untersuchungen von Engelmann darthun (Botan. Ztg. 1881 und 1882), zu spectralanalytischen Beobachtungen betrifft, so ist selbstverständlich, dass sich mittelst derselben die Absorptionen gleichmässig gefärbter Substanzen, welche das ganze Sehfeld ausfüllen, ebenso gut beobachten lassen, wie mittelst des Spectraloculares, sobald diese Substanzen ausreichendes Licht durchlassen und — sofern es sich um Lösungen handelt — in solchen Dicken der Schichten vorliegen, wie sie durch die Construction des Mikroskopes bezüglich zulässiger Hebung des Tubus, sowie die Möglichkeit der genauen Einstellung auf das Spectrum bei dem Gebrauche von Beobachtungsobjectiven von etwa 50 bis 30 mm Brennweite und von Projectionssystemen von etwa 15 bis 30 mm Brennweite bedingt werden.

Concentrirte Lösungen können in Tropfen unter Deckglas untersucht werden und kann man die Schichthöhe etwas erhöhen, indem man Borsten und dergleichen zwischen Objectträger und Deckglas legt. Auch Glaszellen, oder die Glasringe, wie man sie zu feuchten Kammern braucht, liefern aufgekittet passende Behälter, die mit Deckglas bedeckt werden müssen. Für höhere Flüssigkeitsschichten verwendet man entsprechend hohe Cylinder aus etwa 2 bis 2,5 cm weiten Glasröhren, welche oben und unten genau abgeschliffen sind und auf Objectträger aufgekittet und gefüllt, gleich Glaszellen und Ringen bedeckt werden. Als unbedingt erforderlich ist im Auge zu behalten, dass, um Verzerrungen des Spectrums auszuschliessen, die Horizontalflächen absolut eben sein, die Gefässe vollständig gefüllt und Luftblasen sorgfältig vermieden werden müssen, was beim Aufschieben der Deckplatte leicht bewirkt werden kann.

Ganze Laubblätter, auch ziemlich durchsichtige, die noch für das Spectralocular brauchbar sind, ebenso Blumenblätter, lassen hier schon nicht mehr Licht genug durch, um das Spectrum und die Absorptionsbanden noch in geeigneter Weise zur Anschauung bringen zu können.

Für Beobachtungen mikroskopischer Objecte muss die Darstellung des objectiven Spectrums, um noch einen hinreichend grossen Theil desselben im Sehfelde und die nöthige Lichtstärke zu haben, mittelst Ob-

jectivsystemen von 15 bis etwa 6 mm Brennweite bewirkt werden und zwar kann man für Beobachtungssysteme von 10 bis 6 mm Brennweite, Projectionssysteme von etwa 15 mm, für solche von 6 bis 4 mm von etwa 10 mm, für solche unter 4 mm von etwa 6,5 bis 6 mm verwenden. Die Beobachtung geschieht dabei in der Weise, dass man das betreffende Object: Farbstoff- und Chlorophyllkörperchen, Farbstoffkrystalle und Krystalloïde, einzelne, gelöste Farbstoffe enthaltende Zellen etc., wie gewöhnlich scharf einstellt und das Spectrum in seinen verschiedenen Farbenbezirken mittelst Handhabung der entsprechenden Schraube unter denselben hindurchführt.

Die Absorptionen treten hier natürlich nicht, wie bei dem Spectralocular im Zusammenhange auf, sondern ergeben sich getrennt in den einzelnen Farbenbezirken, welche den Gegenstand passiren. Vollständige Absorption giebt sich durch völliges Dunkelwerden des letzteren zu erkennen, während mindergradige je nach deren Grösse eine mehr oder minder starke Verdunkelung desselben herbeiführt. Durch Aneinanderreihung der Einzelabsorptionen nach Stärke und Umfang lässt sich dann das Absorptionsspectrum in seinem vollen Umfange durch Zeichnung oder Bezifferung darstellen.

Der Vortheil, welchen die Beobachtung im objectiven Spectrum gegenüber derjenigen in dem Spectrum über dem Oculare bietet, liegt vorzugsweise darin, dass man die Absorptionen in derselben Zelle oder in gewissen Gewebetheilen neben einander vorkommender, nicht oder nur schwierig isolirbarer Farbstoffträger zu ermitteln in den Stand gesetzt ist.

Lagenbestimmung der Absorptionen. Die Lage der Absorptionsbanden genauer zu bestimmen, giebt es verschiedene Wege, von denen indessen nur die auf wirkliche Messungen beruhenden die nöthige Verlässlichkeit gewähren. 306

Bei der auf Seite 278 beschriebenen Messvorrichtung und der in Fig. 186 dargestellten Scala, welche von dem 0-Punkte der Trommel, der im äussersten Roth vor *A* liegt, auf den Raum von 100 mm in 100 Theile getheilt ist, deren jeder 10 Theile der Mikrometertrommel entspricht, bei der also die Fraunhofer'schen Linien *B*, *C*, *D*, *E*, *F* und *G* je durch die Zahlen 85, 130, 220, 415, 585 und 945 bestimmt werden, lassen sich die Absorptionsbanden ganz in ähnlicher Weise bestimmen, wie diese Linien und wenn man drei Zahlen verwendet, so kann man Anfang, Mitte und Ende derselben genau beziffern. Wollte man nun unter Zugrundelegung dieser oder einer ähnlichen Scala (bei anderen fällt in der Regel der Nullpunkt der Trommel mit der Fraunhofer'schen Linie *A* zusammen) die Wellenlänge der absorbirten Strahlen kennen, so würden die obigen Zahlen auf die der Wellenlängenscala zu reduciren sein. Es werden aus diesem Grunde wohl allmälig die auf gleiche Theilung basirten Messapparate verdrängt und durch solche ersetzt werden, denen die Ang-

ström'sche Scala (S. 280 u. f.) zu Grunde liegt, welche unmittelbar die Wellenlängen angiebt. Da hierbei die Scala über dem Spectrum projicirt wird, so kann die Ablesung — nachdem die *D*-Linie genau auf 589 eingestellt ist — ohne Weiteres vollzogen werden.

2. Anwendung des prismatisch zerlegten polarisirten Lichtes. Spectro-Polarisation.

307 **Verhalten doppelt brechender Körper.** Der Polarisationsapparat liefert für das prismatisch zerlegte Licht in Bezug auf die Erhellung des Sehfeldes ähnliche Erscheinungen wie für gewöhnliches Licht. Das Sehfeld leuchtet bei parallelen Polarisationsebenen des Polarisators und Analysators in den Farben des continuirlichen Spectrums, erscheint aber verdunkelt, sobald jene unter rechtem Winkel gekreuzt werden.

Schaltet man bei der letzteren — für mikroskopische Zwecke allein in Betracht kommenden — Orientirung von Polarisator und Analysator ein das ganze Sehfeld einnehmendes, oder in seinem Bilde den Spalt voll ausfüllendes doppelt brechendes Object, welches so dünn ist, dass es im einfachen Polarisationsapparat nur die Farben der ersten Ordnung bis zu Weiss zeigt, so ein, dass seine beiden zur Wirkung kommenden Elasticitätsachsen mit den Polarisationsebenen Winkel von 45° bilden, dann wird das Spectrum sofort vollständig in der gleichen Helligkeit sichtbar, wie es an und für sich zwischen den parallel gerichteten Polarisationsebenen erscheint.

Nimmt das Object dagegen im objectiven Spectrum nur einen Theil des Sehfeldes ein, oder füllt dessen Bild im Spectralocular nur einen Theil der Spaltlänge aus, so wird im letzten Falle ein entsprechend breiter die ganze Länge des Spectrums durchziehender Streifen des letzteren erhellt, während im ersteren Falle der Gegenstand sich ähnlich verhält, wie im einfachen Polarisationsapparat, nur dass er in denjenigen Farben des Objectivspectrums leuchtet, über welchen er liegt. Man sieht hieraus, dass die Frage, ob ein organischer Körper einfach oder doppelt brechend ist, auch mittelst prismatischer Zerlegung des polarisirten Lichtes entschieden werden kann.

Für die Beantwortung dieser Frage sowohl, als für die Bestimmung der Richtung der Elasticitätsachsen, beziehentlich des relativ positiven oder negativen Charakters wird aber das Verhalten der zu prüfenden Körper unter Anwendung der sogenannten „verzögernden Plättchen" von grosser Wichtigkeit und es dürfte die Untersuchung in den mittelst dieser Plätzchen erhellten Spectren, welche zuerst von Valentin (Max Schultze's Archiv für mikroskopische Anatomie Bd. VII, 1871) in Anregung gebracht, dann aber von Rollet (Zeitschrift für Instrumentenkunde, Novemberheft 1881) an der Hand des Seite 281 erwähnten voll-

kommeneren Apparates in die Wissenschaft eingeführt wurde, nach meinen bisherigen Erfahrungen wohl für die Zukunft eine hohe Bedeutung erlangen.

Werden Gyps- oder Glimmerplättchen, welche im polarisirten Lichte höhere Farben — von Roth I. Ordn. an aufwärts — geben, zwischen dem Polarisator und dem Spalt der Prismenvorrichtung eingefügt, so treten die bekannten Müller'schen Streifen (Fig. 239) im Spectrum auf

Fig. 239.



(J. Müller in Poggendorff's Annalen, Bd. 69 u. 71). So z. B. zeigen zwei Gypsplättchen von Dr. Steeg und Reuter folgende Absorptionsstreifen:

Roth I. Ordnung . . . . . . Mittel 505 (Fig. 239)
„ II. „ . . . . „ 515[1]) (Fig. 240 I.).

Bei Plättchen mit Farben der höheren Ordnungen (V bis VII) treten mit zunehmender Dicke immer zahlreicher werdende Interferenzstreifen auf.

Bringt man nun bei so verändertem Spectrum einen doppelt brechenden Körper in solcher Lage auf den Objecttisch, dass dessen in der Objectebene liegenden Elasticitätsachsen mit den gleichnamigen Elasticitätsachsen des betreffenden verzögernden Plättchens dahingehen oder dieselbe kreuzen, so werden die Müller'schen Streifen, je nach Stärke und Eigenschaft der Doppelbrechung des Beobachtungsobjectes um eine gewisse Strecke nach Roth oder nach Violett hin verschoben. Orientirt man z. B., um die Verschiebungen neben den ursprünglichen Streifen im Sehfelde zu haben, einen sehr schmalen (etwa 1 mm breiten), aus einem dünnen Glimmerplättchen geschnittenen, in Canadabalsam oder Dammarharz eingelegten Streifen, der für sich bei gekreuzten Nicols etwa Weiss I. O. giebt, so, dass die in der Einstellebene wirksam werdende grössere Elasticitätsachse mit der gleichnamigen Elasticitätsachse eines verzögernden Gypsplättchens von Roth II. O. dahin geht (in welchem Falle dieses Roth in dem einfachen Polarisationsapparate auf Blau III. O. erhöht werden würde), dann wird der ursprüngliche Müller'sche Streifen mit der Mitte auf 515 (Fig. 240 I.) für den, soweit er über dem Glimmerstreifen

[1]) Will man das allmälige Wandern der Müller'schen Streifen bei von Roth aus steigenden und sinkenden Farben neben einander zur Anschauung bringen, so benutzt man eine circular polarisirende Doppelplatte (am besten wie sie Steeg und Reuter aus Gyps und Glimmer liefern) und dreht dieselbe, nachdem man die Trennungslinie in die Mitte des Sehfeldes gebracht hat.

liegt, die ausgelöschte Spectralfarbe wieder hergestellt wird, nach Roth hin soweit verschoben, dass seine Mitte auf etwa 565 trifft (Fig. 240 II.). Wird hierauf die Orientirung so vorgenommen, dass sich die gleichnamigen Elasticitätsachsen kreuzen (wobei in dem einfachen Polarisationsapparate Gelb II. Ordnung erzeugt worden wäre), so erfolgt die Ver-

Fig. 240.

schiebung nach Violett hin und es nimmt nun der Absorptionsstreifen eine Stellung, bei der seine Mitte auf etwa 470 liegt (Fig. 240 III.). Aus diesem Verhalten ist ersichtlich, wie das Wandern der **Müller**'schen Streifen von dem violetten nach dem rothen Ende des Spectrums hin ein Steigen, die Bewegung von dem rothen nach dem violetten Ende hin aber ein Sinken der Farben bedeutet und wie sich im Anschluss hieran die Additions- und Subtractionslage eines in seinen optischen Eigenschaften unbekannten doppelt brechenden Objectes, d. h. die Lage je der grösseren und kleineren, in je einer der Einstellebene parallelen Schnittebene desselben zur Wirksamkeit gelangenden Elasticitätsachsen bestimmen lässt.

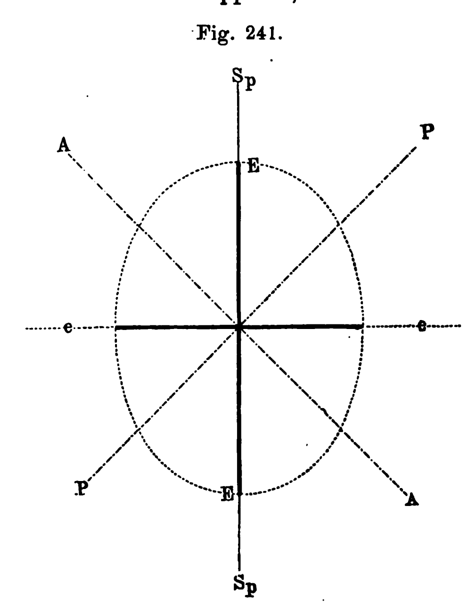
308 **Gebrauch des Spectro-Polarisators.** Die optischen Theile des Spectro-Polarisators müssen für die damit vorzunehmenden Beobachtungen in folgender Weise angeordnet werden. Stellt *Sp Sp* (Fig. 241) die Richtung des Spaltes vor, so müssen Polarisator und Analysator so orientirt werden, dass ihre Polarisationsebenen, *PP* und *AA*, jederseits mit der Spaltrichtung einen Winkel von 45° machen [1]), während das

[1]) Es kann zu dem Ende der äusseren, zur Aufnahme des Polarisators dienende Hülse ein Schlitz eingeschnitten werden, der einem an der Fassung des letzteren befindlichen Zapfen zur Führung dient und der so bemessen ist, dass beim Anschlag des Zapfens genau 45° nach der einen oder der anderen Seite erreicht sind.

verzögernde Gypsplättchen so eingeschaltet wird, dass dessen grösste Elasticitätsachse *EE* mit der Spaltrichtung parallel geht, während die kleinere *ee* einen rechten Winkel damit bildet.

Ist diese Orientirung vollzogen, so wirft man, nachdem man sich mit Rücksicht auf die Ausmaasse des Beobachtungsgegenstandes für das entsprechende Beobachtungs- und Projectionsobjectiv entschieden und letzteres aufgeschraubt hat, während ein schwaches Objectiv am Tubus angeschraubt ist, mittelst des Spiegels für die Beleuchtung des Spaltrohres volles Licht in den Apparat, beleuchtet die Scala (falls man den Abbe'schen Spectro-Polarisator verwendet) und rückt das Spectrum durch Handhabung der die Horizontalbewegung vermittelnden Schrauben in die Mitte des Sehfeldes. Hierauf verengt man den Spalt soweit, dass man die Fraunhofer'schen Linien und die durch entsprechende Stellung des Scalenobjectives über das Spectrum projicirten Theilstriche der — nicht zu grell beleuchteten — Scala zugleich mit ihnen scharf sieht.

Fig. 241.



Nachdem diese Vorbereitungen vollendet sind, bringt man das Object auf den Objecttisch und stellt zunächst das Spectrum mittelst des schwachen, noch am Mikroskop befindlichen Systemes durch entsprechende Hebung oder Senkung des Spectro-Polarisators auf die Objectebene ein. Hierauf vertauscht man das bislang benutzte Objectiv mit dem zur Beobachtung ausgewählten und bringt das Object genau in den Focus, indem man zugleich die Lage des Spectrums so regulirt, dass man dieses, d. h. die Theilstriche der Scala, die Fraunhofer'schen Linien, sowie die Einzelheiten des Gegenstandes zu gleicher Zeit scharf abgebildet erblickt.

Dreht man jetzt das über den das Spectrum der Breite nach durchziehenden Müller'schen Streifen gebrachte Object in der Einstellebene um die optische Achse des Instrumentes und es bleibt in allen Drehungsrichtungen dunkel, so ist dasselbe einfach brechend. Giebt es dagegen zwei Stellungen, in denen das erstere in der durch den Interferenzstreifen ausgelöschten Farbe leuchtet, indem es in der einen Stellung gleich einer Verdickung, in der anderen gleich einer Verdünnung des verzögern-

den Plättchens wirkt, dann ist auf Doppelbrechung zu schliessen. Um zur Entscheidung darüber zu gelangen, in welcher Richtung die grössere und kleinere in der Einstellebene des Objectes zur Wirksamkeit kommende Elasticitätsachse verläuft, muss das Präparat gleichsam in einem dem unter I. besprochenen Glimmerstreifen ähnlichen, das ganze Spectrum durchsetzenden Streifen übergeführt, d. h. es muss das Spectrum mittelst der zur seitlichen Verschiebung dienenden Vorrichtung stetig unter dem Objecte durchgeführt werden, so dass dieses in ununterbrochener Reihenfolge über sämmtliche Spectralfarben zu liegen kommt. Tritt dabei eine Verdunkelung des Objectes über einem, dem rothen Ende des Spectrums zugewandten Farbenbezirke ein, so ist dies ein Beweis dafür, dass es sich in der „Additionslage" befindet und dass seine grössere Elasticitätsachse mit derjenigen des verzögernden Plättchens parallel gerichtet ist. Wird dagegen die Verdunkelung in dem nach dem violetten Ende gelegenen Theile des Spectrums beobachtet, so hat man das Object in der „Subtractionslage" eingeschaltet und es geht seine grössere Elasticitätsachse mit der kleineren des verzögernden Plättchens parallel.

Bei kugelförmigen Körpern oder Cylinderdurchschnitten, in denen die zur Wirksamkeit kommenden Elasticitätsachsen radical und tangential dahingehen, hat man die Additionslage, sobald die Quadranten unter $+ 45^0$ in den nach Roth, die unter $- 45^0$ liegenden in den nach Violett gelegenen Farbenbezirken verdunkelt werden, während auf Subtractionslage zu schliessen ist, wenn das umgekekrte Verhalten eintritt.

In Bezug auf die Wahl der verzögernden Plättchen ist hervorzuheben, dass solche von Roth erster oder zweiter Ordnung in sofern den Vorzug verdienen, als sie empfindlicher sind, wie solche höherer Ordnung und demgemäss unter ihrer Verwendung schon bei verhältnissmässig geringer Doppelbrechung des Objectes die dadurch bewirkte Verdickung oder Verdünnung entschieden hervortritt. Ein solches von Roth zweiter Ordnung dürfte insofern vorzuziehen sein, als der demselben angehörige Interferenzstreifen schärfer ist, als derjenige des Roth erster Ordnung.

VI. Anwendung der physikalischen Hülfsmittel der Beobachtung.

Unter den physikalischen Hülfsmitteln der Beobachtung verdienen, da wir die Untersuchung in polarisirtem und spectral zerlegtem Lichte bereits behandelt haben, an dieser Stelle die Anwendung eines allmäligen, gleichmässigen Druckes und verschiedener Quellungsmittel, sodann die Einwirkung erhöhter wie verminderter — beziehentlich bis unter den Gefrierpunkt herabgehender — Temperatur verschiedener Durchleuchtung und der Elektricität unsere besondere Beachtung.

Anwendung des Druckes. Die Anwendung des Druckes ist in einzelnen Fällen für die mikroskopische Untersuchung namentlich von manchen thierischen Geweben nicht ohne Erfolg, da in Folge der Beschaffenheit des Gegenstandes selbst die geschickte Handhabung von Messer und Nadel oft nicht ausreicht, um Einzelnes zur Anschauung zu bringen, was sich mittelst sorgfältiger Anwendung des Druckes erreichen lässt, indem durch ihn entweder einzelne Theile des Präparates ausser Zusammenhang gebracht oder doch in seinem Inneren gelegene Elemente sichtbar gemacht werden können. In allen derartigen Fällen ist besonders darauf zu achten, dass man den Druck nur in solchem Umfange anwendet, wie ihn die Sichtbarmachung der betreffenden Organisationsverhältnisse erfordert. Ferner hat man sorgfältig die Veränderungen zu bedenken, welche dadurch in einzelnen Theilen des Objectes hervorgerufen werden könnten, um sich nicht zu einer falschen Beurtheilung des Beobachteten verleiten zu lassen. 309

Wichtiger denn als Präparationsmittel ist die Anwendung des genau nach der Eigenart des Objectes zu bemessenden Druckes als Hülfsmittel der Beobachtung an und für sich und wird es oft nur mittelst dieser Hülfe möglich, über einzelne Structurverhältnisse zu einer bestimmten Entscheidung zu kommen. So lässt sich z. B. manchmal nur mittelst Anwendung des Druckes entscheiden, ob man einen hohlen oder soliden äusserst kleinen Körper vor sich hat, ob ein winziges kugelförmiges Object, ein weiches oder hartes Kügelchen, oder ein von einer Flüssigkeit oder Luft erfüllter Raum sei. Ebenso wird das Verhalten des Inhaltes der Elementarorgane zum Drucke in vielen Fällen wichtig und bietet dieser oft das einzige Mittel, um jenen Inhalt da, wo er der Beobachtung der Organisationsverhältnisse hinderlich sein könnte, auszutreiben. Endlich kann der Druck angewendet werden, um Bewegungen der Objecte zu hindern, welche der ruhigen Beobachtung störend entgegentreten, wie das namentlich bei der Untersuchung über niedere Pflanzen und Thiere der Fall ist.

Zur Erzielung des gewünschten Druckes giebt es namentlich zwei Wege, von denen jeder seine Vor- und Nachtheile hat. Man bewirkt denselben nämlich entweder mittelst des weiter oben beschriebenen Quetschers oder mittelst der blossen Hand. Letzteres Mittel ist unter allen Umständen das einfachere und gewährt ausserdem den Vortheil, dass man durch Verschieben des Deckglases das Object hin- und herrollen, ihm dadurch die für die Beobachtung günstigste Seite abgewinnen, und den Druck sowohl nach verschiedenen Richtungen, als in wechselnder, bald vermehrter, bald verminderter Stärke wirken lassen kann. Um dabei die letztere einigermaassen genau zu bemessen, eine allmälige Steigerung sowie eine länger andauernde Gleichmässigkeit derselben erzielen zu können, thut man gut zwischen Objectträger und Deckglas Stückchen einer weichen Masse, z. B. eines Gemisches aus Wachs und damit zusammengeschmolzenem Terpentin einzufügen, welche zur Regulirung dienen können.

310 **Anwendung der Quellung.** Die Quellung beruht bekanntlich auf der mechanischen Einlagerung von Flüssigkeiten zwischen der organischen Substanz und der dadurch hervorgebrachten Vergrösserung des Rauminhaltes. Dieselbe kann ohne oder mit dauernder Aenderung der Molecularconstitution verbunden und damit eine vorübergehende oder dauernde sein und sie gewährt gemäss dieser Art der Wirkung ein wichtiges Hülfsmittel zur Beurtheilung des molecularen Aufbaues der organischen Körper, insofern Verschiedenheiten dieses Aufbaues eine Verschiedenheit der Quellungsfähigkeit bedingen.

Will man nur vorübergehende Quellung hervorrufen, so wendet man je nach Umständen reines, schwach gesäuertes, oder alkalisch gemachtes Wasser an und entfernt das Quellungsmittel dann später wieder und zwar im ersteren Falle durch entsprechendes Trocknen, in den anderen durch Auswaschen. Sollen dagegen bleibende Quellungen hervorgebracht werden, so verwendet man je nach Erforderniss ihrer Concentration nach auszuprobirende Mischungen von Wasser mit flüssigen Säuren, Lösungen fester Säuren, Lösungen von Alkalien und Kupferoxydammoniak, lässt dieselben während einer den Umständen entsprechenden Zeitdauer einwirken und wäscht vor dem Aufbewahren der Präparate dieselben sorgfältig aus. Zu beachten ist noch besonders, dass manche Substanzen das Quellungsmittel in verdünnterem, andere in gesättigterem Zustande aus der dargebotenen Lösung aufnehmen und dass man demgemäss die letztere auf dem ausprobirten erforderlichen Sättigungsgrade zu erhalten hat.

311 **Anwendung erhöhter und verminderter Temperatur.** Die Einwirkung erhöhter Temperatur auf kleine lebend zu beobachtende Organismen, sowie auf einzelne Organe, Gewebe oder auch auf einzelne Theile von Geweben im lebenden wie im todten Zustande, namentlich aber auf manche Elemente des Zellen- und Gefässinhaltes ist häufig höchst wünschenswerth und der Beobachtung in gewissem Maasse förderlich.

Eine bis zur Siedehitze des Wassers gesteigerte und noch höhere Temperatur wird sich namentlich bei dem Gebrauche der weiter oben besprochenen mikrochemischen Hülfsmittel, sowie bei der Untersuchung mancher Inhaltselemente als erwünscht erweisen. Man wird sich indessen hierbei mit Rücksicht auf sein Instrument in vielen Fällen darauf beschränken müssen, die Erwärmung für sich vorzunehmen und das Object erst nach gehöriger Abkühlung unter das Mikroskop zu bringen, wobei dann freilich für alle solche Fälle, wo die Wirkung einer allmälig gesteigerten Temperaturerhöhung studirt werden soll, etwas mehr Mühe und Zeit aufzuwenden ist, indem man denselben Gegenstand nach und nach stärker erwärmen und immer wieder verkühlen lassen muss.

Weit wichtiger als die Anwendung so hoher Temperatur ist die dem Objecte mittelst des heizbaren Objecttisches in Verbindung mit der feuchten Kammer zugeführte Wärme von mittlerer Stärke bis zur Blutwärme

und etwas darüber hinaus. Man wird solche mittlere Wärmegrade, obwohl sie in Folge von mancherlei zu überwindenden Schwierigkeiten für längere Zeit dauernde Entwickelungsvorgänge kaum zu erfolgreicher Anwendung gelangen können, doch immer mit Nutzen bei manchen Erscheinungen des Zellenlebens der Pflanzen anwenden, so z. B. bei den Beobachtungen über die Bewegungen des Protoplasmas über Kern- und Zelltheilung. Vor Allem aber müssen dieselben für die Untersuchung der Gewebe warmblütiger Thiere die höchste Bedeutung erlangen, wie dies eine grosse Reihe Untersuchungen aus neuerer und neuester Zeit beweisen. Hier wird die Ausbildung der speciellen Untersuchungsmethoden überall die normalen Temperaturverhältnisse, unter denen die betreffenden Organismen und Gewebe stehen, auf das Sorgfältigste in Rechnung zu ziehen haben, wenn uns die Beobachtungen brauchbares Material für die Erkenntniss der Entwickelungsgeschichte niederer Thiere der Elementarorgane und Gewebe, sowie für das Verständniss der diesen eigenen Lebenserscheinungen liefern sollen.

Die Anwendung einer gegen die normale Temperatur der Umgebung verminderten Temperatur, welche man durch Umgebung der betreffenden Objecte mit passenden, mit entsprechenden Kältemischungen angefüllten Vorrichtungen erzielen, aber kaum für längere Zeit constant erhalten kann, lässt sich zur Verlangsamung gewisser Processe, z. B. der Zelltheilung der Protoplasmabewegung, bis zu deren völliger Sistirung verwerthen. Unter 0^0 hinabgehende Kältegrade vermögen ferner gewisse in dem Zellinhalte gelöste Verbindungen in fester Form abzuscheiden, so z. B. erhält man aus Dahlienknollen etc. durch Gefrierenlassen in kurzer Zeit prächtige Sphärokrystalle des Inulins.

Anwendung verschiedener Durchleuchtung. Der Einfluss verschiedener Intensität und verschiedener Farbe des Lichtes auf die Lebensthätigkeit der Organismen, wie der einzelnen Elementarorgane, ist schon lange bekannt gewesen und bei physiologischen Untersuchungen in Anwendung gebracht worden. In der mikroskopischen Technik hat diese letztere nach der gedachten Richtung hin erst durch die Untersuchungen von Pringsheim über „Lichtwirkung und Chlorophyllfunction“, sowie von Th. W. Engelmann Eingang gefunden und dürfte dieselbe wohl geeignet erscheinen, um die Wirkungen des Sonnenlichtes des gemischten (weissen) wie des einfarbigen Lichtes auf die einzelnen Bestandtheile, namentlich aber auf den Inhalt der Zellen, unmittelbar zur Anschauung zu bringen und die Vorgänge festzustellen, welche dieselben in dem Inneren der Gewebe anregen und zum Ablauf bringen. Die Vorrichtungen, um die Untersuchungsobjecte mittelst hinreichend intensiven Lichtes zu durchleuchten, bestehen aus entsprechenden Linsenverbindungen. 312

Zu Versuchen wie die Pringsheim'schen eignen sich im Allgemeinen nur solche Vergrösserungen, mittelst deren das ganze Sonnenbild übersehen und eine genaue Einstellung vorgenommen werden kann. Um

diese zu erzielen, wird, nachdem das Präparat vorbereitet und die zu verwendende Lichtart mittelst der beschriebenen Mittel hergestellt ist, vorerst und ehe das erstere auf den Objecttisch gelegt ist, das Sonnenbild in das Mikroskop geworfen, dann das Beobachtungsobject aufgelegt und nun beide und zwar zuerst das Sonnenbild genau eingestellt. Um dabei vergleichbare Resultate zu erhalten und alle Umstände auszuschliessen, welche benachtheiligend einwirken könnten, ist vorzugsweise Folgendes zu beachten: Man muss nächst der genauen Einstellung der zu beobachtenden Objecte in der Ebene des Sonnenbildes dafür Sorge tragen, dass die dunkeln Wärmestrahlen — soweit dies thunlich ist — durch Absorption abgehalten und bei Untersuchungen in weissem oder rothem Lichte die zu hohe Erwärmung der Einhüllungsflüssigkeit durch entsprechende Abkühlung verhindert werde, damit nicht Wirkungen höherer Temperaturen mit denen der Durchleuchtung verwechselt werden können.

313 **Anwendung elektrischer Ströme.** Um die Einwirkung des elektrischen Stromes auf den Blutumlauf, die Flimmerbewegung, die Bewegungen niederer Thiere und Pflanzen, die Strömungen des Protoplasmas und dergleichen zu beobachten, wendet man einen der in dem vorigen Abschnitte beschriebenen elektrischen Objectträger an, indem dessen Entladungsdrähte mit den Poldrähten irgend einer stromerzeugenden Vorrichtung in Verbindung gebracht werden. Als derartige Vorrichtung hat man in der neueren Zeit vielfach von dem Du Bois-Reymond'schen Schlittenapparate Gebrauch gemacht. Ich möchte aber dessen Anwendung in Rücksicht auf das Mikroskop nicht gerade empfehlen. Ich selbst habe mich bei meinen Untersuchungen eines magnetelektrischen Rotationsapparates bedient und glaube, dass derselbe dem vorgenannten fast überall vorzuziehen sein dürfte.

Als nothwendiges Erforderniss eines derartigen Apparates ist zu verlangen, dass derselbe es nicht nur ermögliche, die Stromstärke in beliebiger Weise zu reguliren, sondern dass er auch zugleich eine Vorrichtung besitze, welche gestattet, den durch das Oeffnen und Schliessen des Hauptstromes entstehenden Inductionsströmen die gleiche Richtung zu geben.

VII. Anwendung der chemischen Reagentien.

Für eine beträchtliche Anzahl wissenschaftlicher mikroskopischer Untersuchungen ist die Behandlung der betreffenden Objecte mittelst chemischer Reagentien von hoher Bedeutung und müssen wir daher im Anschluss an das, was im vorhergehenden Abschnitte über die Wirkungsweise der vorzugsweise in Gebrauch befindlichen Reagentien auf die verschiedenen allgemeiner verbreiteten organischen Substanzen des Thier-

und Pflanzenkörpers in Kürze angedeutet worden ist, hier noch die allgemeinen Verfahrungsweisen, Vorsichtsmaassregeln und dergleichen etwas näher betrachten.

Im Ganzen und Grossen ist die Anwendung der mikrochemischen Hülfsmittel höchst einfach und der ganze dabei zu gebrauchende Apparat erstreckt sich neben den Aufbewahrungsgefässen auf ein paar Glasstäbe und Glasröhrchen, Uhrgläschen, kleine Abdampfschälchen, Spritzfläschchen und die sonst bei jeder mikroskopischen Untersuchung unentbehrlichen Utensilien.

Zuführung der Reagentien. Gilt es nur den Nachweis irgend 314 einer chemischen Verbindung, sei es in Zellwand oder Inhalt, so umgiebt man das vorher mit Wasser befeuchtete, nöthigenfalls auch von Harzen, Fetten und dergleichen störenden Substanzen befreite Präparat mit einem Tropfen des betreffenden Reagenzes, bedeckt dasselbe und hat es nun zur Beobachtung fertig.

In der Regel ist es aber erwünscht, die ganz allmälig erfolgende Wirkung eines bestimmten Reagenzes auf einen bestimmten Theil eines Gewebes oder Organes zu studiren. Hier wird man immer um so sicherer zum Ziele gelangen, je allmäliger die Vermischung des Reagenzes mit der Zusatzflüssigkeit geschieht, in welcher das frische Object liegt, und je vorsichtiger man dessen Concentrationsgrad beachtet, den man durch eine Zuführung immer neuer und kleiner Mengen der betreffenden Lösung leicht zu regeln vermag. Man bringt zu dem Ende einen Tropfen des erforderlichen Reagenzes mittelst eines Glasstäbchens oder Glasröhrchens vorsichtig an den Rand des Deckglases, unter welchem das Präparat in Wasser liegt, lässt sich beide Flüssigkeiten mischen, beobachtet den Erfolg und fügt dann, falls es nöthig wird, in gleicher Weise Tropfen um Tropfen der Probeflüssigkeit hinzu, bis die erzielte Wirkung zum Vorschein kommt. Wo es wegen des Focalabstandes der Objectivsysteme zulässig ist, kann man eine noch stetigere Vermischung erzielen, wenn man unter das Deckglas einen feinen Baumwolle- oder Leinenfaden bringt und dessen hervorragendes Ende mit einem Tropfen der Probeflüssigkeit betupft. Sollte nach und nach die Menge der Zusatzflüssigkeit zu gross werden, so dass man ein Ueberfliessen über das Deckglas und damit eine Verunreinigung der unteren Linse des Objectivsystemes zu fürchten hätte, oder wünscht man mit dem Concentrationsgrade noch weiter zu steigen, so lässt sich der Ueberschuss an Flüssigkeit an dem einen Rande des Deckglases mittelst eines kleinen Stückchens Fliesspapier oder eines flach ausgebreiteten Haarpinsels leicht hinwegnehmen.

Kann das Reagenz in festem Zustande verwendet werden, so bringt man kleine Mengen desselben entweder an den Rand des Deckglases oder auch in die Zusatzflüssigkeit, welche sich hier natürlich als Lösungsmittel eignen muss und nach diesem Gesichtspunkte zu wählen ist. Die gelösten Theilchen verbreiten sich so von dem Orte der betreffenden

Substanz aus in der benachbarten Flüssigkeit und lassen die allmälige Einwirkung genau beobachten.

Arbeitet man mit Objectivsystemen von langem Focalabstande und mit Lösungen, welche das Instrument nicht angreifen und in denen das wirksame Mittel weniger rasch als das Lösungsmittel oder gar nicht verdunstet, so kann man auch den von Nägeli und Schwendner empfohlenen Weg einschlagen. Man überlässt einen Tropfen der sehr verdünnten Lösung, welche auf die darin vertheilten Objecte noch keine chemische Wirkung ausübt, auf dem Objectträger unbedeckt der Verdunstung. Da letztere an dem Rande des Tropfens immer grösser ist, als in der Mitte, so steigert sich die Sättigung von dieser nach jenem hin stetig und man kann die Einwirkung in ihren verschiedenen Uebergängen sowohl in beliebiger Langsamkeit nach einander, als neben einander beobachten, sowie das Verfahren an demselben Präparate beliebig oft wiederholen.

315 **Entfernung der Reagentien.** Soll ein Reagenz wieder ganz von einem Präparate entfernt und dieses hierauf mit Wasser ausgewaschen werden, so gilt es häufig, die grösste Vorsicht anzuwenden, namentlich wenn das Object sehr zart ist und man durch das Wegnehmen des Deckglases dasselbe zu verderben Aussicht hätte. Ich habe in diesem Falle unter allen Umständen folgendes Verfahren am einfachsten und zweckmässigsten befunden. Man bringt den Objectträger sammt dem bedeckten Präparate in eine mit einer hinreichenden Menge reinen destillirten Wassers gefüllte flache Porzellanschale. Es tritt dann noch eine gewisse Menge Wasser zu dem Reagenz unter das Deckglas und hebt dasselbe etwas, so dass man es nun mittelst einer feinen Glasnadel leicht über das Präparat wegschieben kann, ohne dieses zu verletzen. Die das letztere umgebende Wassermenge reicht in der Regel zum Auswaschen desselben vollkommen aus und man kann es mittelst einer breiten messerartigen Präparirnadel, des Präparirschäufelchens, oder eines feinen Haarpinsels ohne Weiteres auf einen frischen, bereit gehaltenen Objectträger bringen. Weniger schnell zum Ziele führend, für den minder geübten Beobachter indessen bei sehr zarten Präparaten vielleicht noch vorzuziehen, ist das von Harting empfohlene Verfahren. Nach diesem bringt man den Objectträger in eine etwas geneigte Lage und giebt auf den nach oben gekehrten Rand des Deckglases tropfenweise Wasser, welches unter dieses sich hineinzieht und die Probeflüssigkeit mit fortreisst, ohne das Object zu verletzen und wegzuführen. Wo das Präparat sehr dünn ist und das Deckglas somit zu fest aufliegt, um dem Wasser das Eindringen zu gestatten, da hebt man letzteres etwas und fügt zwischen beide Gläser einen dünnen Körper, etwa ein Haar oder dergleichen, ein, worauf das Ausspülen leichter von statten geht. In anderer Weise kann man einen dauernden Strom der Auswaschflüssigkeit dadurch herstellen, dass man dieselbe entweder an den einen Rand des Deckglases bringt und an dem gegenüberstehen-

den ein Stückchen gerade abgeschnittenes Fliesspapier anlegt, um als Saugapparat zu dienen, oder eine grössere in oder über dem Niveau des Objectes befindliche Menge von ihr mit einem Baumwollfaden in Verbindung bringt, diesen unter das Deckglas führt und an der gegenüberstehenden Seite einen zweiten Baumwollfaden unterlegt, welcher die Ableitung der überschüssigen Flüssigkeit vollzieht.

Um sich bei Anwendung der letztgenannten Verfahrungsweisen davon zu überzeugen, ob das Object hinreichend ausgewaschen ist, muss von Zeit zu Zeit das ablaufende Waschwasser mit den geeigneten Reagentien untersucht werden.

Viertes Capitel.

Zeichnung und Aufbewahrung mikroskopischer Präparate.

I. Die mikroskopische Zeichnung.

316 Eine jede mikroskopische Beobachtung ist, wenn sie überhaupt der Wissenschaft zu Gute kommen soll, durch eine deutliche und naturgetreue Zeichnung festzuhalten. Letztere kann durch kein anderes Mittel unnöthig gemacht oder ersetzt werden, und eine auch noch so genaue und eingehende Beschreibung des Beobachteten wird ohne die Beigabe der entsprechenden Zeichnung immer mehr oder minder unverständlich bleiben.

Man mache es sich daher zum Gesetze, bei jeder Beobachtung sorgfältig alles das zu zeichnen, was für dieselbe von Bedeutung erscheint. Niemals lasse man seine Zeichnungen von fremder Hand ausführen, da dabei gerade das nothwendigste Erforderniss, d. h. die Fähigkeit, unter dem Mikroskope richtig zu sehen, unerfüllt bleibt. Ausserdem ist, wie wir später sehen werden, zur Wiedergabe einer mikroskopischen Beobachtung nicht bloss eine einzelne Flächeneinstellung hinreichend, sondern es wird die Combination der verschiedenen, durch einen stetigen Wechsel der Einstellung erhaltenen Bilder erforderlich.

317 **Optische Hülfsmittel zum Zeichnen.** Um sich mit dem Gebrauch dieser Hülfsmittel recht vertraut zu machen, wird immerhin einige Uebung erfordert, die man sich aneignen muss. Eine Hauptbedingung

für die sichere und genaue Ausführung der Umrisse etc. bleibt eine zweckmässige Regelung der Beleuchtungsgrade des Sehfeldes und der Zeichenfläche. Soweit es irgend geht, sollten dieselben einander gleich sein. Für schwächere Vergrösserungen wird man mehr oder minder stark abblenden müssen, wozu namentlich die Cylinderblendungen das geeignetste, nicht leicht zu ersetzende Mittel gewähren. Bei stärkeren Vergrösserungen oder auch bei denjenigen Zeichenapparaten, die einen Lichtverlust bedingen, wird es nöthig, das Zeichenpapier etwas zu beschatten, um das projicirte mikroskopische Bild mit hinreichender Schärfe zu sehen. Dies führt aber wiederum den Nachtheil mit sich, dass man die Bleistiftspitze nicht scharf genug sieht. Für manche Fälle und namentlich auch dann, wenn es nicht möglich ist, das nachfolgende Mittel anzuwenden, ist es daher zweckmässig, dem Vorschlage Harting's zu folgen, und als Zeichenfläche eine Schiefertafel oder schwarzes Schieferpapier zu benutzen, worauf man mittelst eines Schiefer- oder Kreidestiftes zeichnet. Am einfachsten und sichersten wird die gleichmässige Erhellung von Zeichenfläche und Sehfeld hergestellt, wenn man in die Bahn der von der Zeichenfläche nach dem projicirenden Apparate verlaufenden Lichtstrahlen Rauchgläser von geeignetem Tone einschaltet, wie dies bei der Abbe'schen Camera lucida geschehen ist. Um die Zeichenfläche unverrückt in ihrer Lage zu erhalten, befestigt man dieselbe auf dem Zeichenpulte, dessen man, um die erstere in der richtigen Entfernung zu haben, die hier natürlich mit Rücksicht auf den durch die Sehweite des Beobachters bedingten Abstand der Zeichenfläche von dem Augenpunkte (der Austrittspupille des Mikroskopes) nach der Formel $N = \frac{y^*}{y} \cdot \frac{X}{x^*}$ bestimmt werden muss, auch dann bedarf, wenn die Camera lucida das Bild auf eine horizontale Ebene projicirt. Sehr gut eignen sich hierfür die kleinen, mit breiten Messingknöpfen versehenen, sogenannten Aufspannzwecken, die man leicht eindrücken und wieder wegnehmen kann. Wenn man nicht Zeichnungen anzufertigen hat, welche die Grösse des Gesichtsfeldes übersteigen, so schneidet man sich Papier oder Schieferpapier in quadratische, etwa jener Grösse gleichkommende Blättchen, weil diese sich am bequemstem behandeln lassen. Um die Originalzeichnungen von der ersten Skizze aus auf die Tafeln zu übertragen, paust man erstere auf die bekannte Weise durch und erhält so in den Umrissen und den relativen Verhältnissen der einzelnen Theile getreue Copien, denen man die nothwendige weitere Ausführung zu Theil werden lässt.

318 **Zeichenmaterialien.** Als solche kommen namentlich Papier, Bleistifte, Zeichenfedern, Pinsel und einige wenige Farben in Betracht.

Für die gewöhnlichen histologischen Zeichnungen, mögen sie mit Stift, Feder oder Pinsel ausgeführt werden, eignet sich ein festes, glattes und weisses Zeichenpapier am besten. Ausgezeichnet ist das Papier von

Whatmann, weniger gut habe ich die französischen Zeichenpapiere gefunden. Für Zeichnungen, die mehr Körperlichkeit verlangen und mit Tusche ausgeführt werden sollen, bei denen man also laviren muss, ebenso für alle solche, bei denen Wasserfarben Anwendung finden, ist ein weniger glattes, feinkörniges Papier (Whatmann) zweckmässiger, weil sich auf diesem die Farben leichter verarbeiten lassen. Die Körnung darf indessen nicht so stark sein, dass die Reinheit der Umrisszeichnung leidet.

Von Bleistiften wähle man nur die anerkannt besseren Sorten. Als sehr brauchbar sind namentlich die bekannten Faber'schen Stifte zu empfehlen. Ihnen ganz nahe kommen die Stifte von Rehbach, sowie von J. S. Staedler in Nürnberg. Will man den Bleistift bloss zur ersten Anlage der Umrisse benutzen, so reicht man mit einer mittelharten Sorte, etwa Nr. 3 von Faber, aus, soll derselbe dagegen zur vollen Ausführung dienen, so muss man auch die weichen Nummern Nr. 2 und 1 von Faber oder diesen entsprechende Nummern anderer Fabrikanten besitzen.

Die Zeichenfeder lässt sich mit gutem Erfolge zur Ausführung der Umrisszeichnungen verwenden, und dürfte deren Handhabung gewiss Manchem weit leichter werden, als die des Pinsels. Es eignen sich als solche vorzüglich die sogenannten lithographischen Federn, ebenso die englischen Zeichenfedern von Bowmann, weil man mit denselben je nach dem Druck die feinsten Nüancen in der Stärke der Striche von den zartesten Contouren bis zu den starken Schattenlinien ausführen kann. Auf keinen Fall wende man sich zu den wohlfeilen Federn dieser Art, die in der Regel nur eine harte Linie geben und für die starken Schatten kaum zu gebrauchen sind.

Der Pinsel wird sowohl für Umrisse wie für Schatten- und Farbenanlagen gebraucht, und muss man je nach der Bestimmung eine Auswahl verschiedener Pinsel besitzen.

Für die Umrisse benutzt man solche mit feiner Spitze und sind zu diesem Zwecke die in der Wassermalerei neuerdings gebräuchlichen feinen, rothen und schwarzen Marderpinsel besonders zu empfehlen. Die Ausführung der Umrisse mittelst des Pinsels fordert allerdings mehr Uebung in dem Gebrauche, dagegen lässt sich mit demselben, wenn man letztere einmal erworben hat, sehr rasch arbeiten, und es erlangen die Figuren eine grössere Weichheit, als wenn jene mit der Feder gezeichnet werden.

Zu den Schatten- sowie zu den Farbenanlagen benutzt man breitere Pinsel; zum Verwaschen endlich eignen sich am besten längere Zeit im Gebrauch gewesene, deren Spitze bereits abgestumpft ist.

In der Auswahl der Pinsel sei man vorsichtig, und lasse sich nicht durch einen etwas hohen Preis abhalten, nur aus den besten und feinsten Sorten seinen Vorrath anzuschaffen oder zu ergänzen. Nichts rächt sich bei der Ausführung der Zeichnungen mehr, als der Gebrauch schlechter Pinsel.

Für die Farbengebung eignen sich für unsere Zwecke eigentlich nur Wasserfarben. Von Oelfarben möchte nur ausnahmsweise und zwar in einzelnen, später zu erwähnenden Fällen Anwendung zu machen sein, vorausgesetzt, dass man sich mit der Technik dieser Malerei etwas vertraut gemacht hat. Als die besten Farben hebe ich die englischen Wasserfarben von Ackermann und Winsor & Newton und zwar sowohl in Stücken, als in Porzellankästchen (feuchte Wasserfarben) hervor, welche sich namentlich ihrer Durchsichtigkeit halber zu den in Frage kommenden Zeichnungen eignen. Die Pariser Honigfarben, sowie die Farben in Zinnbüchsen, die ich zu anderen Zwecken benutze und hier und da für die mikroskopische Zeichnung versucht habe, eignen sich meinen Erfahrungen nach weniger gut, als jene, und sind auch etwas schwieriger zu behandeln. Man braucht im Ganzen nur wenig Farben, und kommt recht gut mit folgenden aus: Gummigutt oder Indischgelb und Indigo geben die weniger glänzenden Grüne, während man für die glänzenden Grüne Saftgrün, Brown pink oder Gummigutt mit Berlinerblau oder Indigo mischt. Namentlich erhält man durch Brown pink und Indigo wunderschöne Schattengrüne. Berlinerblau wird sowohl für sich, als in Verbindung mit Carmin zu den violetten Mischungen gebraucht. Ultramarin oder Cobaltblau dient namentlich zur Hebung der blauen Farbentöne, und lässt sich geeigneten Falles recht gut verwenden, ebenso liefert dasselbe mit Carmin feurige violette Töne. Für die verschiedenen braunen Farbentöne reicht man mit gebrannter Terra Sienna und Sepia aus, denen man je nach Erforderniss noch gebrannten Ocker oder auch Carmin zur Hebung beimischt. In einzelnen Fällen wird man von dunklerem, als dem obigen Gelb, etwa von Chromgelb, und hier und da von Zinnober Gebrauch machen müssen.

319 **Erfordernisse einer mikroskopischen Zeichnung.** Die Anforderungen, welche an eine gute wissenschaftliche Zeichnung gestellt werden müssen, sind folgende:

Es muss dieselbe vor Allem naturgetreu sein, d. h. genau das wiedergeben, was man beobachtet hat. Um diese Naturtreue zu erreichen, ist es unerlässlich, dass man für das darzustellende Object selber das richtige Verständniss mitbringt, d. h. dass man das Verhältniss seiner einzelnen Theile zu einander, sowie deren Bedeutung für das Ganze richtig erkannt hat. Mit einem Worte, man muss zuerst richtig beobachtet und den Gegenstand allseitig untersucht haben, und dann erst zur Zeichnung schreiten.

Diese Forderung fällt aber keineswegs mit der zusammen, dass die Zeichnung eben nur das und nichts Weiteres enthalte, als was uns eine bestimmte Flächeneinstellung des Gegenstandes zeigt, oder dass Alles, was in dem Sehfelde erscheine. auch von der Zeichnung wiedergegeben werden müsse.

Das Mikroskop dient dazu, unserem Gesichtssinne zu Hülfe zu kommen, und für den Betrachtenden soll eben die Zeichnung momentan dieses Hülfsmittel ersetzen, ohne dass derselbe genöthigt wäre, für sich alle die Einzelanschauungen zu wiederholen, welche zusammen das Resultat der Beobachtung ausmachen und durch die verschiedenen Einstellungen erreicht worden sind. Die mikroskopische Zeichnung soll eine Anschauung gewähren, welche der gewohnten Anschauungsweise mit blossem Auge möglichst nahe kommt. Da wir nun gewohnt sind, die uns umgebenden Gegenstände körperlich, d. h. nach den drei Dimensionen des Raumes ausgedehnt, aufzufassen, so muss jene diese Auffassungsweise soweit als erlaubt und möglich zu unterstützen suchen. Man darf sich daher bei mikroskopischen Zeichnungen nicht auf einfache Striche beschränken, die immer nur ein flächenhaftes Bild gewähren, sondern es müssen die der körperlichen Anschauung entsprechenden Licht- und Schattenverhältnisse wohl beachtet werden.

In den genannten Erfordernissen liegt schon ein Schritt zur Erfüllung der zweiten Anforderung der Deutlichkeit und Verständlichkeit. Diese bedingt aber noch ferner, dass aus der Wiedergabe der mikroskopischen Beobachtung alles dasjenige ausgeschlossen bleibe, was nicht zu dem Gegenstande selbst und dessen Verständniss gehört. Es wird immer nur einzelne Fälle geben, in denen man das eigentliche Object der Beobachtung isolirt von allen umgebenden Gewebe- und Elementartheilen vor sich hat. Alles, was nicht zu dem Objecte selbt gehört, darf daher nicht nur; sondern soll in der Zeichnung entweder ganz wegbleiben, oder doch nur in solcher Weise angedeutet werden, dass es die Anschauung dessen nicht beeinträchtigt, worauf es hauptsächlich und allein ankommt.

Um das Verständniss zu erleichtern, muss die Zeichnung sich so genau als möglich an die Maassverhältnisse des mikroskopischen Bildes halten. Es müssen nicht nur alle nothwendigen Einzelheiten darin erscheinen, sondern gegeneinander auch dieselben Verhältnisse einnehmen, wie in dem letzteren. Namentlich ist die genaueste Beachtung dieser Forderung überall da geboten, wo es sich um zu controlirende Maassbestimmungen handelt. Hier sollte man daher seine Skizzen niemals mittelst der freien Hand, sondern mit Hülfe der Camera lucida entwerfen, und die zu veröffentlichenden Zeichnungen später genau danach ausführen. Es bedarf dann nur der Beisetzung der Vergrösserung, um hiermit dem Leser eine vollkommen sichere Controle der Maassbestimmungen zu ermöglichen.

Ehe ich zu den Angaben über die technische Ausführung der Zeichnungen übergehe, kann ich nicht umhin, auf eine Art von Zeichnungen zurückzukommen, die, vereinzelte Fälle ausgenommen, gänzlich zu verwerfen sind. Es sind dies die sogenannten schematischen Zeichnungen. Durch dieselben lernt man nicht nur Nichts, indem sie keine Anschauung der Natur geben, sondern in den meisten Fällen erwecken sie

ganz falsche Vorstellungen, weil in der Regel der Beobachter zu viel von seiner individuellen Anschauung hineinträgt. Nur in solchen Fällen, wo mehrere Einzelanschauungen, die in der Beobachtung nur getrennt von einander vorkommen, in einer Gesammtanschauung auf einander bezogen werden sollen, oder wo es sich um Wiedergabe der Anordnung der grössere Gewebemassen (Gefässbündel u. dergl.) zusammensetzenden verschiedenen Elemente handelt, bei der es nicht sowohl auf die feineren Structureinzelheiten der Zellen etc., als auf einen Gesammtüberblick ankommt, kann man sich sogenannte halbschematische Figuren gestatten, bei denen z. B. dünnwandige Zellen mittelst einfacher feiner, dickwandige mittelst stärkerer dunklerer Linien angegeben werden u. dergl., die im Uebrigen aber doch ganz und gar auf der Natur beruhen. Dann ist dies aber immer anzugeben.

320 **Art der Ausführung mikroskopischer Zeichnungen.** In Bezug auf die Ausführung sollte man es sich im Allgemeinen zum Grundsatze machen, seinen Zeichnungen einen möglichst hohen Grad von Correctheit und Sauberkeit zu geben, und bei deren Ausführung eine geringe Mühe nicht scheuen. Schon die oben gestellten Anforderungen bedingen diese Eigenschaften, indem es ganz und gar nicht gleichgültig ist, ob eine Linie zarter oder schwächer gezeichnet, ob die Entfernung zweier nebeneinander verlaufender Linien grösser oder kleiner angegeben wird. Ebenso bedingt die Darstellung des Köperlichen eine wohl zu beachtende Wiedergabe der Licht- und Schattenverhältnisse.

Correcte und schöne, mit allen erforderlichen Einzelheiten ausgestattete Figuren gewähren dem Beschauer neben dem besseren Verständniss eine höhere Befriedigung, als rohe, faserige und schablonenartig steife, nichtssagende Bilder. Es ermüdet bei dem Studium einer wissenschaftlichen, mit Figuren ausgestatteten Abhandlung weit mehr, wenn man erst aus eigener Erinnerung sich ein plastisches Bild construiren muss, als wenn uns dieses schon in der Zeichnung frappant entgegentritt.

Umrisszeichnungen. Die meisten Zeichnungen, welche in der mikroskopischen Praxis vorkommen, sind einfache Umrisszeichnungen, wie z. B. bei den fertigen Pflanzengeweben, bei manchen thierischen Geweben und Elementartheilen. Hier wird es in der Regel genügen, die mittelst der Camera lucida entworfenen Umrisse mit Zuhülfenahme des betreffenden Präparates, welches man unter dem Mikroskope hat, zu corrigiren und mit Rücksichtnahme auf Licht- und Schattenseite rein auszuführen. Wo man in Höhlungen hineinsieht, da sind die Schatten immer etwas tiefer, als da, wo die Contouren benachbarter Gewebeelemente zusammenstossen. Jene müssen daher auch in der Zeichnung in der entsprechenden Stärke ausgeführt sein, um der Flächenansicht die erforderliche Körperlichkeit zu verleihen. Eine recht genaue Betrachtung des mikr[illegible]n Bildes wird hierfür die besten Winke an die Hand [illegible] Schnitten röhrenförmige oder faserförmige

Elementarorgane auftreten, die etwa halbirt sind, da muss aus der Zeichnung erkannt werden, ob man jene oder diese, die untere concave, oder die obere convexe Hälfte vor sich hat, indem, den mit blossem Auge erlangten körperlichen Ansichten entsprechend, im ersteren Falle der stärkste Schatten zur rechten, im anderen zur linken Seite der Achse gelegt wird. In gleicher Weise muss bei anderen Structuren der Unterschied zwischen Vertiefungen und Erhabenheiten in der Substanz der Membranen oder der Oberflächen hervorgehoben werden.

Ob man bei diesen Zeichnungen Stift, Feder oder Pinsel gebrauche, immer hat man auf Präcision der Umrisse sowie auf deren relative Stärke zu achten und ist dafür, wenn man mit den beiden letzteren zeichnet, namentlich die Consistenz der Tusche von Bedeutung. Wenn man mit dem Stifte zeichnet, der indessen nach meinen Erfahrungen keine so bestimmte und reine Ausführung der feinsten Details gestattet, als Feder und Pinsel, benutzt man bei der Anlage grösserer und zarter Schattenpartien den Wischer, mittelst dessen sich eine grosse Weichheit erzielen lässt. Bei Feder- oder Pinselzeichnungen führt man dieselben in der bekannten Wasch- und Lavirmanier aus.

Wiedergabe des Zelleninhaltes etc. Neben den Umrissen der Gewebselemente wird in einer grossen Anzahl von Fällen auch die genaue Wiedergabe des Inhaltes erforderlich. Wo dieser für die histologische und physiologische Bedeutung der betreffenden Elementarorgane oder Gewebe sowie für die Entwickelungsgeschichte von Wichtigkeit ist, da muss die Beschaffenheit desselben aus der Zeichnung ohne Mühe erkannt werden. Es ist daher auf dessen Darstellung die erforderliche Sorgfalt zu verwenden, und man darf sich nicht mit einigen flüchtigen Andeutungen begnügen, die dem Beschauer sagen, da ist Etwas, es aber seiner Phantasie überlassen, das Was und Wie sich auszumalen. Gerade diese Darstellung wird dem Anfänger oft die meiste Mühe verursachen, und es hilft zu deren Ueberwindung nur eine wiederholte und eingehende Beobachtung. Wo der Inhalt keine besondere Bedeutsamkeit besitzt, da mag man ihn mehr derart ausführen, dass nur allgemeinere Charaktere fest gehalten werden.

Morphologische Zeichnungen. Erfordern schon die Flächenansichten und namentlich die getreue Darstellung des Inhaltes die Wiedergabe der Körperlichkeit, so ist dies in noch höherem Grade bei morphologischen Figuren, sowie bei den Habituszeichnungen der mikroskopischen Pflanzen und Thiere der Fall. Hier muss uns das betreffende Organ oder das dargestellte Geschöpf in seiner vollen Plasticität entgegentreten, was nicht allein die Beachtung von Schatten und Licht, sondern auch der Perspective erfordert. Derartige Zeichnungen sind daher schon etwas schwieriger auszuführen, allein die nöthige Geduld wird bald zum Ziele führen. Das mikroskopische Bild unterstützt uns hier insofern etwas, als derartige Beobachtungen nur bei schwachen Vergrösserungen vorgenommen werden, welche vermöge der grösseren Sehtiefe die Lage

der einzelnen Theile zu einander leichter erkennen lassen und keine so absolute Flächenansicht gewähren, wie die stärkeren Vergrösserungen. Zur Ausführung bedient man sich entweder des Stiftes und Wischers oder des Pinsels, da die Federzeichnung an zu grosser Härte leiden würde.

Farbengebung. Die Anwendung von Farben wird bei der mikroskopischen Zeichnung vorzugsweise für manche Inhaltselemente der Zellen und Gewebe, dann für die Darstellung von injicirten Gefässen, mikrochemischen Färbungen, Reactionen etc. erforderlich. Auch hier kann nur ein unbedingt treues Wiedergeben des Beobachteten empfohlen werden, indem z. B. Art und Ton der Färbung oft sehr bedeutend zum Wiedererkennen einzelliger organischer Wesen beitragen und bei den Reactionserscheinungen die Schlussfolgerung in Beziehung auf Art und Quantität der betreffenden Substanz ausserordentlich erleichtern. Man muss daher gerade für diese Art Zeichnungen sich eine vollständig getreue Wiedergabe zum unabänderlichen Gesetze machen. Es wird dabei nur in den seltensten Fällen von reinen Farben Gebrauch gemacht werden können. In der Regel werden Mischungen erfordert.

Polarisationsfiguren. Eine eigene Technik erfordern die Zeichnungen, welche der Darstellung von Polarisationserscheinungen dienen sollen. Für die durch gekreuzte Nicols hervorgerufenen Erscheinungen bedarf es der weissen oder farbigen Zeichnung auf schwarzem Grunde, während die Polarisationserscheinungen bei Anwendung des $^1/_4$ Glimmerplättchens Weiss und Schwarz auf blaugrauem Grunde, bei Anwendung des gewöhnlich gebrauchten Gypsplättchens vom Roth erster Ordnung eine brillante Farbengebung auf rothem Grunde verlangen. Hier reichen wir, wenn wir naturgetreue Figuren liefern wollen, mit den oben erwähnten Zeichenmaterialien nicht aus, indem sich uns entweder zu bedeutende Schwierigkeiten überhaupt entgegenstellen oder doch eine ausreichend lebendige Farbengebung mit ihren Uebergängen in einander fast unmöglich wird. Um den passenden Zeichengrund zu haben, kann man in einem Falle, d. h. für dunkeles Sehfeld, das käuflich zu habende matte schwarze Papier auf Carton aufgezogen, im anderen Falle entsprechend gefärbten Carton, der in neuerer Zeit sowohl in dem blaugrauen, wie in dem geeigneten rothen Tone zu haben ist, verwenden.

Auf dem erwähnten farbigen Carton lässt sich ausgezeichnet mit Oelkreidestiften zeichnen, namentlich gewähren die weissen Bilder auf schwarzem Grunde, bei Schärfe und Bestimmtheit, einen prächtigen Anblick. Für feines Detail und Contouren verwendet man indessen besser Kremserweiss in feuchten Wasserfarben oder in Oel, welches für die verschiedenen Abstufungen mit Rebenschwarz gemischt wird. Auf dem blaugrauen Grunde zeichnet man mit schwarzen und weissen Stiften. Für die Farbengebung auf dem rothen Gypsgrunde benutzt man die entsprechenden Farben der genannten Stifte, oder, wenn die Farbe nicht ausdrucksvoll genug wird, feuchte Wasserfarben, oder Oelfarben. Bei

Verwendung von Oelfarben muss Papier oder Carton zuerst mit einer Leimlösung bestrichen werden, damit die Farben nicht einschlagen.

Spectralbilder. Zur Darstellung der Absorptionsbilder im Allgemeinen bedarf es keineswegs der Ausführung der Banden und Absorptionen über dem in Farben ausgeführten continuirlichen Spectrum. Es genügt, wenn dieselben in der bei den nicht farbigen Figuren in Anwendung gebrachten Weise mittelst Bleistiftes und noch besser mittelst Tusche über einer der zur Lagenbestimmung benutzten Scalen, welche man, auf 100 mm vergrössert, sich selbst zeichnet oder in Lithographie ausführen lässt, an den betreffenden Stellen eingetragen werden. Soll das Auftreten neuer Absorptionsbanden oder das Anwachsen derselben, sowie der Endabsorption bei steigender Concentration oder Schichtenhöhe übersichtlich nebeneinander dargestellt werden, so führt man dieses am geeignetsten in der Weise aus, wie es die Fig. 240, S. 482, zur Darstellung bringt, oder wie es von Pringsheim bei der Darstellung seiner spectralanalytischen Untersuchungen der Chlorophyllfarbstoffe (Monatsberichte der k. Akademie der Wissenschaften in Berlin, October 1874) geschehen ist. In etwas einfacherer Weise lassen sich die hier in Frage kommenden Erscheinungen durch untereinander gelegte Curven darstellen, indem man diese auf einer der Scala entsprechend getheilten Horizontallinie als Abscisse von den absorptionsfreien Stellen des Spectrums aus um so höher ansteigen, und sich um so weiter ausdehnen lässt, als die Absorptionen stärker werden und sich weiter ausbreiten.

Bei den Darstellungen der im spectral zerlegten polarisirten Lichte sich ergebenden Thatsachen wird wohl für gewisse Fälle das in Farben ausgeführte Spectrum als Unterlage benutzt werden müssen. Aber auch hier dürfte in den meisten Fällen die Benutzung der Scala genügen, indem man den Absorptionsstreifen des Gypsplättchens, sowie die bei Verschiebung des Spectrums durch die doppelt brechenden Objecte herbeigeführten Verdunkelungen in den entsprechenden Farbenbezirken beziehentlich zwischen oder auf den betreffenden Wellenlängen einzeichnet.

II. Aufbewahrung der mikroskopischen Präparate.

Nächst dem Festhalten der mikroskopischen Beobachtungen durch die Zeichnung ist die Aufbewahrung instructiver, die jeweiligen Untersuchungsresultate beweisender Präparate für den Mikroskopiker von der höchsten Wichtigkeit. In neuerer Zeit sind zudem durch die vereinten Versuche und Bemühungen unserer tüchtigsten mikroskopischen Forscher die Aufbewahrungsmethoden so sehr ausgebildet worden, dass es durchaus keiner erheblichen Schwierigkeit mehr unterliegt, Präparate der verschiedensten Art, und von jeder, selbst der zartesten Beschaffenheit mit Sicherheit für lange Zeit zu erhalten.

Diese Methoden hängen selbstverständlich von Art und Beschaffenheit der betreffenden Präparate ab und bewahrt man solche entweder trocken, oder umgeben von harzigen Substanzen, sowie von wässerigen und anderen Flüssigkeiten auf.

321 **Trockene Aufbewahrung.** Trocken, d. h. von Luft umgeben, lassen sich nur verhältnissmässig wenige Präparate aufbewahren. Dahin gehören von den eigentlich histologischen Objecten die Knochen- und Zahnschliffe (Welcker), dünne Schichten von Blutserum und einzelnen Blutkörperchen (C. Schmidt), Horn, Fischschuppen, sowie Kiesel- und Kalkskelette und deren Theile von niederen Thieren, endlich Insectenschüppchen und die Kieselschalen der Diatomeen, wenn es nur auf die Structur dieser selbst, oder namentlich wenn es auf die feinen Zeichnungen auf den letzteren ankommt. Man bringt diese Gegenstände, wenn sie dünn genug sind, einfach auf den Objectträger, bedeckt sie mit einem Deckgläschen und umgiebt dessen Rand mit einer verklebenden Masse, wozu dicke Gummilösung, dickflüssiger Canadabalsam, irgend ein Lack, Wachs und dergleichen gleich gute Dienste leisten. Besitzen die Präparate eine etwas stärkere Dicke, so legt man sie in eine kleine Zelle aus Papier, Lackrähmchen oder Streifen dünnen Glases, worüber weiter unten das Nähere angegeben werden wird, und verfährt dann wie oben.

322 **Aufbewahrung von Wasser befreiter Objecte in Balsamen, Harzen u. s. w.** Fast ebenso einfach wie die trockene Aufbewahrung ist die von hierzu unmittelbar geeigneten oder gehörig vorbereiteten Gegenständen in harzigen Substanzen, von denen sich namentlich Canadabalsam, Dammar, Terpentin und Copallack als am meisten geeignet erwiesen haben. Alle diese Mittel dienen gleichen Zwecken und werden ziemlich auf die gleiche Weise verwendet und behandelt.

Der Canadabalsam sowie die ihm verwandten Substanzen eignen sich als Aufbewahrungsflüssigkeit nur für solche Gegenstände, welche entweder vollkommen trocken sind, oder ein vorhergehendes Trocknen, beziehungsweise eine vorbereitende Behandlung mittelst Alkohols und flüchtiger Oele vertragen, und bei welchen die durch das Aufbewahrungsmittel hervorgerufene beträchtliche Aufhellung und Durchsichtigkeit nicht Undeutlichkeit herbeiführt. Von pflanzlichen Gegenständen kann man in diesen Mitteln Schnitte und Schliffe harter Samenschalen und Fruchthüllen, Schnitte von Sporen und Pollenkörner, die Schalen der Diatomeen, sowie Präparate fossiler Hölzer, Tinctionspräparate etc. aufbewahren. Von thierischen Objecten vertragen sie namentlich die Panzer von Insecten und Infusorien, Wurzelfüsslern und dergleichen, ferner die Schnitte und Schliffe von festen Theilen, wie von Zähnen, Knochen, Fischbein, Horn, Muschelschalen, ebenso die meisten Objecte, bei denen man Färbungen der Kernsubstanz etc., sodann Imprägnationen und Injectionen vorgenommen hat, sofern der [illegible] delte Präparate durch die erwähnten Vorber[illegible] Ausserdem bilden harzige Substanzen das

geeignetste Aufbewahrungsmittel für kleine isolirte Krystalle, ebenso für alle solche Präparate, welche zur Untersuchung im polarisirten Lichte sowie zu photographischen Aufnahmen bestimmt sind.

Für diese Aufbewahrungsweise ist die Vorbereitung der betreffenden Objecte von erheblicher Wichtigkeit. Trockene Präparate, in deren Höhlungen die Luft nicht etwa erhalten werden soll, tränkt man vor dem Einlegen durch und durch mit einem flüchtigen Oele, welches, wenn es längere Zeit einwirkt, ähnlich wie der Alkohol, die erstere aus den Höhlungen der Zellen, Fasern etc. austreibt. Man verwendet zu diesem Zwecke in der Regel Terpentinöl, es ist aber das vom Professor Rindfleisch empfohlene Nelkenöl, oder Bergamottöl vorzuziehen, weil sich der Canadabalsam besser mit demselben mischt. Solche Gegenstände, welche Wasser enthalten und nicht zu empfindlich sind, befreit man von diesem entweder durch Trocknen oder durch Einlegen in absoluten Alkohol. Das Trocknen darf des Schrumpfens wegen nur nach und nach geschehen, und nimmt man dasselbe im Winter bei mässiger Wärme am Ofen, auf dem Wasserbade oder in einem eigenen Trockenapparate, im Sommer an der Sonne oder, wo die Präparate hierdurch zu sehr schrumpfen würden, unter einer Glasglocke neben oder über einem Schälchen mit concentrirter Schwefelsäure vor. Nach dieser Operation überträgt man das trockene Präparat zuerst in absoluten Alkohol und dann unmittelbar in Nelkenöl oder auch, nachdem es wieder nahezu trocken geworden, in Terpentinöl.

Zarte und wasserreiche Gewebe, welche in Canadabalsam oder Dammar eingeschlossen werden sollen, bedürfen einer etwas umständlicheren und möglichst sorgfältigen Vorbereitung. Nach der bisher üblichen Verfahrungsweise bringt man das betreffende Präparat, um ihm zunächst sein Wasser zu entziehen, für einige bis 24 Stunden in schwächeren, dann in stärkeren, dann schliesslich in absoluten Alkohol und überträgt es von da in Nelken- oder Bergamottöl. Nach kurzer Zeit ist das Object zum Einschluss in das Harz bereit, in welches es unmittelbar und ohne vorheriges vollständiges Abtrocknen aus dem flüchtigen Oele eingelegt werden kann, indem sich der erstere mit diesem in jedem Verhältnisse mischt. Statt der Verwendung von Alkohol und flüchtigen Oelen nach einander hat neuerdings Berganzini den Gebrauch des Phenols für sich allein (unter Umständen bei gelinder Erwärmung) empfohlen, welches auch sehr zarte Präparate nicht angreifen soll und dabei den Vortheil biete letztere unmittelbar aus Wasser und wasserhaltigen Färbeflüssigkeiten in das genannte Mittel und aus diesem in das Einschlussmittel übertragen zu können.

Beim Einlegen bringt man zuerst einen Tropfen der genannten Harze beziehentlich ihrer Lösungen auf den vorher sorgfältig, nöthigenfalls mit Weingeist gereinigten und etwas erwärmten Objectträger, legt das Präparat auf und giebt einen zweiten Tropfen darüber. Hierauf bedeckt man sorgfältig, indem man das gut gereinigte, mittelst einer Pin-

cette schiefgehaltene Deckglas von der hinteren Kante her allmälig in die horizontale Lage überführt und schliesslich mit dem Hefte einer Präparirnadel ganz langsam niederdrückt, so dass die etwa eingeschlossene Luft entweichen kann. Sollte dies dennoch nicht vollständig geschehen, so hilft ein rasches und nicht zu starkes Erwärmen über der Spirituslampe, oder noch sicherer ein längeres Erwärmen über ganz gelindem Ofenfeuer.

Ein besonderer Verschluss ist bei dieser Aufbewahrungsmethode kaum nöthig, da das an den Rändern des Deckglases hervorquellende Einschlussmittel schon nach wenigen Tagen zu einem hinreichend festen Walle eintrocknet. Ich ziehe es indessen vor, die Ränder des Deckglases zuerst mit einer Lösung des Aufbewahrungsmittels zu umziehen und dann mit einem Saume von Lack zu umgeben, und möchte dies um so mehr geboten sein, wenn man statt Canadabalsams Dammar oder Terpentin verwendet, die beide nur langsam trocknen und immer mehr oder weniger klebrig bleiben, was beim Reinigen des Präparates störend ist.

Der Canadabalsam, den man je nach Umständen entweder in gewöhnlichem Zustande oder in Form einer Lösung in Aether oder Chloroform anwenden kann, muss zu unserem Behufe vollständig rein, schön durchsichtig und von weisser oder schwach hellgelber Farbe sein. Da derselbe für die oben geschilderte Einschlussmethode vielfach am geeignetsten erscheint, wenn er ziemlich dickflüssig ist, so muss man ihn, damit er Tropfen bildet, etwas erwärmen. Am besten geschieht dies in der Art, dass man eine kleine Menge desselben mittelst eines unten hakenförmig gebogenen Glasstäbchens aus der Flasche zieht und bis zum Flüssigwerden über die Spirituslampe hält. Dieses Glasstäbchen befestigt man zweckmässig der Art in dem Korke, welcher die weithalsige Flasche schliesst, dass man es höher und tiefer schieben und stets etwas in die Oberfläche des Balsams tauchend erhalten kann. Eine bequeme und reinliche Behandlung gestattet der neuerdings von dem Kaiser'schen Institut in Berlin verzeichnete, in Zinkkapseln eingeschlossene, in Terpentin gelöste Balsam, welcher in beliebig grossen Tropfen ausgedrückt werden kann und gerade die erforderliche Consistenz besitzt.

Für zarte Präparate eignet sich besser, als der dickliche Balsam die vom Professor Frey zuerst empfohlene Lösung desselben in Chloroform, der ich überhaupt, nachdem ich sie einmal in Gebrauch genommen, vor dem dickflüssigen Balsam den Vorzug für alle Objecte gebe, weil das ganze Verfahren ebenso bequem, als wenig umständlich und zeitraubend ist. Das Einlegen geschieht bei gewöhnlicher Temperatur, und zwar giebt man mittelst eines Glasstabes einen Tropfen der Lösung auf den Objectträger, legt das Präparat ein und lässt einen zweiten Tropfen Flüssigkeit nachfolgen, um dann vorsichtig das Deckglas aufzulegen. Man muss hier nur darauf achten, dass man nach einiger Zeit, wenn das Lösungsmittel verdunstet und Luft zwischen Deckglas und Objectträger tritt, die Lücke sorgfältig mittelst eines neuen Tropfens der Aufbewahrungsflüssigkeit ausfüllt.

Die Dammarlösung, welche namentlich für Tinctionspräparate viele Vorzüge besitzt, kann auch, da sie fast farblos ist und die Structureinzelheiten weniger aufhellt, für andere Präparate mit Vortheil den Canadabalsam, sowie andere Harzlösungen, z. B. Kolophonium, ersetzen. Nach einer Notiz von Pfitzner (Morphol. Jahrbuch v. Gegenbauer B. VI) werden gleiche Theile von Dammarharz, Benzin und Terpentinöl mit einander gemischt in gelinder Wärme bis zur Lösung stehen gelassen, dann die klare Flüssigkeit von dem bleibenden (aus Verunreinigungen des Harzes bestehenden) Bodensatze abgegossen und durch Verdunstenlassen in offenem Gefässe die gewünschte Dichte erzielt. Eine andere, wie ich mich überzeugt habe, recht gute Bereitungsweise ist folgende. Man trägt 10 g gepulverten Dammar in 20 g Benzin ein und lässt sich das Harz bei gewöhnlicher Temperatur darin lösen, wozu etwa 24 bis 48 Stunden erforderlich sind. Die über einem unlöslichen Bodensatze stehende Flüssigkeit wird nach dieser Zeit sorgfältig abgegossen und derselben 4 g reines Terpentinöl zugesetzt, womit das Präparat zum Gebrauche fertig erscheint. Statt der beschriebenen Lösungen kann auch der in der Oelmalerei gebrauchte Dammarlack angewendet werden. Die früher mehrseitig empfohlene Lösung von Sandarak in Alkohol, hat sich nach Anderer und meiner Erfahrung nicht bewährt und kann ich vor deren Anwendung nur warnen.

Wo durch die Behandlung mittelst der flüchtigen Oele nachtheilige Einwirkungen auf das Object zu erwarten sind, da verwendet man statt der voranstehenden Einschlussmittel besser verharztes und verdicktes Terpentin, welches sich leicht mit Alkohol mischt und welches man leicht erhält, wenn man Terpentinöl vor Staub geschützt in flachen Gefässen längere Zeit dem Einfluss von Luft und Licht aussetzt.

Zur Aufbewahrung solcher trockener Objecte, bei denen es gilt, neben vollständiger Ausnutzung sehr hoher numerischer Aperturen die Sicherheit gewisser Structurverhältnisse durch entsprechende Unterschiede in dem Brechungsvermögen des Objectes und des Einschlussmittels zu erhöhen, eignen sich namentlich Cassiaöl, Monobrom-Naphtalin und eine höchst concentrirte Lösung von Quecksilberjodid in Jodkalium, ausserdem aber auch Schwefelkohlenstoff (der indessen durch das Monobrom-Naphtalin überflüssig geworden ist), sowie die (hier nicht näher zu berücksichtigende) Lösung von Phosphor in Schwefelkohlenstoff, deren Brechungsindices schon auf S. 200 angegeben worden sind.

Zur Verkittung von Präparaten, welche in Cassiaöl und Monobrom-Naphtalin eingelegt werden sollen, eignen sich vorzugsweise dicke Lösung von Schellack in Alkohol (siehe weiter unten), sowie der sogenannte „Porzellankitt“, der eine gelbliche, dickliche, in niederer Temperatur gelatinirende Masse bildet, welche vor dem Gebrauche gelinde erwärmt werden muss (ich habe denselben aus der Materialhandlung von Fr. Schaefer dahier bezogen). Beim Einlegen verfährt man so, dass man eine vollständig gleich hohe runde oder vierseitige Zelle herstellt, dann

bis zu fast vollständigem Erhärten wartet, in die Zelle einen Tropfen der Aufbewahrungsflüssigkeit bringt und nun das Deckglas, an dem man das Object festgeklebt hat (bei Diatomeen u. dergl. kann dies leicht geschehen, indem man einen Tropfen der Flüssigkeit, in der die Schalen suspendirt sind, auf dem Deckglase eintrocknen lässt; andere Objecte z. B. trockene Gewebe von Pflanzen mit spiralig gestreiften Zellen etc., befestigt man mittelst eines Minimums der Aufbewahrungsflüssigkeit), sorgfältig auflegt. Etwa überfliessende Flüssigkeit nimmt man mittelst Fliesspapieres weg und umzieht dann die Ränder mit einem auf Deckglas und Objectträger übergreifenden Rande des betreffenden Kittmittels.

Zum Verschlusse der in Quecksilberjodidlösung eingelegten Objecte verfährt man nach der weiter unten näher beschriebenen Welcker'schen Methode. Die Lösung selbst stellt man am besten dadurch her, dass man in eine geringe Menge — etwa 10 ccm — von destillirtem Wasser, beide Salze nach und nach so lange einträgt, bis dieselben im Ueberschuss sind, wozu für obige Wassermenge mindestens je 25 bis 30 g erforderlich werden. Hierbei ist, mit Rücksicht auf die verschiedenen specifischen Gewichte der Salze selbst, wie ihrer Lösungen, zu beachten, dass häufig umgeschüttelt werden muss, um eine vollständige und schneller sich vollziehende Lösung des Quecksilberjodids herbeizuführen. Die klare überstehende Lösung giesst man ab, oder filtrirt.

323 **Aufbewahrung feuchter Objecte.** Eine weit ausgedehntere Anwendung als die vorhergehende geniesst die Aufbewahrung der mikroskopischen Objecte in feuchtem Zustande, da nur bei dieser Methode dieselben sich in ihrem vollen natürlichen Verhalten zeigen. Als Aufbewahrungsflüssigkeiten werden hier theils wasseranziehende, theils verdunstende angewendet. Von ersteren gebraucht man namentlich Glycerin, Chlorcalcium und essigsaures Kalium, von den anderen ist eine ziemlich grosse Menge von einfachen Flüssigkeiten sowohl als von Gemischen empfohlen worden, von denen wir nur diejenigen hier näher betrachten können, welche sich am besten bewährt haben und in mehr allgemeinen Gebrauch genommen worden sind. Alle diese Flüssigkeiten verlangen einen sorgfältigen Verschluss, der bei den verdunstenden natürlich vollkommen luftdicht sein muss.

Als Verschlussmittel hat man verschiedene Lacke und Kitte in Vorschlag gebracht, die mehr oder minder gut ihren Zweck erfüllen, und unter denen man je nach Umständen eine Auswahl wird treffen müssen. Die Erfordernisse, welche hierbei zu leiten haben, sind zunächst hinreichende Zähigkeit der Masse, wodurch ein späteres Reissen oder Springen verhindert wird, dann die Eigenschaft, möglichst rasch und gleichmässig zu trocknen.

Zu den am häufigsten in Anwendung gebrachten Kitten gehören der, wenn ich nicht irre, zuerst von Welcker empfohlene Asphaltlack, der durch Schacht bekannt gewordene Maskenlack, sowie der erst in

neuerer Zeit in Gebrauch gekommene Mikroskopierlack, der Ziegler'sche Kitt u. a.

Der Asphaltlack bildet eine Auflösung von Asphalt in Leinöl und Terpentin. Will man von demselben Gebrauch machen, so muss man sich vor Allem durch eigene Versuche davon überzeugt haben, dass er zwar leicht trocknet, aber dabei keine Risse und Sprünge bekommt. Auch hat man auf dessen Consistenz zu achten. Ein zu flüssiger Lack zieht sich während des Auftragens leicht zwischen die Deckglasränder, verdrängt einen Theil der Aufbewahrungsflüssigkeit, und verunreinigt so das Präparat, während ein zu steifer Lack sich nicht in hinreichend dünnen Schichten auftragen lässt. Hier kann man sich im ersteren Falle durch Offenstehenlassen des Gefässes, im anderen durch Verdünnen mittelst Terpentinöls helfen, das man, wenn zuviel zugesetzt wurde, an der Luft theilweise wieder verdunsten lässt. Für den letzten Lacküberzug empfiehlt H. v. Mohl, dem Asphaltlack etwas fetten Leinölfirniss zuzusetzen, was denselben geschmeidiger erhalten und weniger geneigt machen soll, beim Trocknen zu springen. Die Brauchbarkeit des Asphaltlackes wird sich je nach den verschiedenen im Handel vorkommenden Sorten als verschieden herausstellen, und so mag es kommen, dass ihm manche Mikroskopiker vor anderen Verschlussmitteln den Vorzug geben, während andere gar nichts von demselben wissen wollen. Ich selbst habe mehrere Sorten durchprobirt, bin aber von keiner einzigen vollständig befriedigt worden, indem der Verschluss nach längerer Zeit immer mehr oder minder schadhaft wurde.

Weit bessere Erfolge erzielte ich mittelst des schwarzen Maskenlackes Nr. 3, welchen man aus der Lackfabrik von Bäseler in Berlin per Fläschchen von 50 bis 60 g zu 50 Pfennig, ebenso von den mikroskopischen Instituten von Boecker, Kaiser, Thum u. A. in Gläsern zu 60 bis 80 Pfennig beziehen kann. Das Lösungsmittel dieses Lackes, dessen übrigen Bestandtheile mir nicht näher bekannt sind, besteht aus Spiritus; derselbe trocknet ziemlich leicht, und hat sich bei mir seit vielen Jahren gehalten, ohne dass der Verschluss der Präparate im Geringsten gelitten hätte. Der einzige Uebelstand, der ihm eigen ist, besteht darin, dass das Trocknen in etwas dickeren Lagen nicht gleichmässig erfolgt und die Oberfläche, obgleich sie anscheinend völlig trocken erscheint, noch einige Zeit klebrig bleibt. Er ist ursprünglich ziemlich dünnflüssig, weshalb man sich eine etwas consistentere Lösung durch theilweises Verdunsten des Lösungsmittels herstellen muss. Zu stark eingedickter Lack wird mittelst Alkohols dünnflüssiger gemacht.

Den in verschiedenen Farben von den oben genannten und anderen Handlungen zu Preisen von 50 Pfennig bis 1 Mark verzeichneten „Mikroskopierlack“ habe ich selbst noch nicht erprobt, kann also über dessen Eigenschaften nichts sagen, jedoch habe ich ihn, namentlich den des Institutes von Kaiser in Berlin, von anderen Seiten loben hören.

Die genannten Lacksorten bewahrt man am geeignetsten in etwas weithalsigen Gläsern und streicht sie mittelst eines Pinsels auf, den man durch den Kork geführt beständig in die Flüssigkeit tauchen lässt.

Der in neuerer Zeit mehrfach empfohlene Ziegler'sche Kitt stellt eine weisse dickliche Masse dar, welche durch einen passenden Zusatz von Terpentinöl bei mässiger Wärme leicht nach Wunsch verdünnt werden kann. Derselbe trocknet sehr langsam und bleibt Monate lang klebrig; ausserdem scheint er nicht ganz frei von dem Uebelstande des Reissens zu sein.

Verdickte Schellacklösung giebt ein gutes Verschlussmittel fast für alle Präparate. Man bereitet den Kitt, indem man braunen oder blonden Schellack in absolutem Alkohol löst, filtrirt und in gelinder Wärme — vor Staub geschützt — so lange abdunstet, bis die erwünschte Consistenz erreicht ist. Eine ähnliche Masse erhält man nach Poulsen (Botanische Mikrochemie) durch Lösung von 50 g Canadabalsam und 50 g Schellack in 50 g Alkohol und 100 g Aether und Eindicken der Flüssigkeit im Wasserbade bis zu Syrupconsistenz.

Eine Anzahl anderer Kittmittel, wie Copalfirniss, Siegellacklösungen etc. habe ich nicht erprobt gefunden und übergehe sie umsomehr, als obige Massen wohl für alle Fälle ausreichen dürften.

Für gewisse Präparate, auf die wir weiter unten zurückkommen müssen, eignet sich auch der Oschatz'sche Kitt sehr gut, den ich mir aus Copalfirniss bereite, und zwar unter Zugabe von soviel feinstgeschlemmtem Zinkweiss, bis das Ganze etwa die Consistenz des Honigs hat.

324 Aufbewahrung in Glycerin und Glyceringemischen. Das Glycerin eignet sich für eine grosse Anzahl von pflanzlichen sowohl als thierischen Präparaten ausgezeichnet, indem es von allen gut angenommen wird. Dies ist namentlich der Fall, wenn sich die aufzubewahrenden Gegenstände in einem etwas feuchten Zustande befinden, weshalb es zweckmässig ist, trockene Objecte vor dem Einlegen anzufeuchten. Das einzige Hinderniss, welches der allgemeinen Anwendung des Glycerins etwa entgegensteht, ist der Umstand, dass es die Objecte weit durchsichtiger macht als die weiter unten zu besprechenden Flüssigkeiten, so dass zarte Structurverhältnisse darin weniger deutlicher hervortreten, und dass die zarteren Gewebe durch Entziehung eines Theiles ihres Wassers immer mehr oder weniger schrumpfen. Dagegen hellt es vermöge der ersteren Eigenschaft weniger durchsichtige Gegenstände in wünschenswerther Weise auf, so dass diese ein schönes Bild gewähren. Ebenso erhalten sich in demselben manche Inhaltspartien besser als in anderen Flüssigkeiten, so namentlich Chlorophyll und Stärkemehl, dessen Schichtung zwar anfangs verschwindet, aber schon nach dem Verlaufe von einem halben bis einem ganzen Tage wieder deutlich hervortritt, worauf auch Schacht seinerzeit hingewiesen hat.

Verdünnt man das Glycerin mit Wasser und setzt ein paar Tropfen Essigsäure zu, so eignet es sich auch für zartere Präparate, indem es

nun kein Schrumpfen mehr veranlasst, und an seiner aufhellenden Eigenschaft bedeutend verliert. Allein solche Präparate sind wegen Verdunstens des überschüssigen Wassers nach längerer oder kürzerer Zeit dem Verderben ausgesetzt, wenn man nicht einen absolut luftdichten Verschluss hergestellt hat.

Eine Mischung von 5 Raumtheilen Glycerin mit 1 Theil essigsaurem Alaun und 4 Theilen destillirtem Wasser soll nach Frey zur Aufbewahrung von in Carminlösungen gefärbten Präparaten sehr gute Dienste leisten.

Für die Aufbewahrung äusserst zarter Gegenstände der Histologie, ebenso für die Aufbewahrung von niederen Thieren, Algen und ähnlichen Objecten, deren natürliches, frisches Aussehen man möglichst zu erhalten wünscht, in deren Inhalt also keine oder nur höchst unbedeutende Veränderungen stattfinden dürfen, bewährt sich die von Hantsch empfohlene Aufbewahrungsmethode (Reinike's Beiträge zur neueren Mikroskopie, 3. Heft, S. 37 u. f.) ausgezeichnet.

Man wendet hierbei eine Mischung von 3 Theilen reinem 90 proc. Weingeist mit 2 Theilen Wasser und 1 Theil Glycerin an, die man in einem gut schliessenden Glase aufheben kann. Um die Einwirkung dieser Flüssigkeit für den Anfang soweit als möglich zu mässigen, bringt man das Object zuerst in einem Tropfen Wasser, dem man einen kleinen Tropfen der Mischung zugesetzt hat, auf den Objectträger. Hierauf legt man das Präparat an einen möglichst vor Staub geschützten Ort, an welchem Wasser und Weingeist ungehindert verdunsten können und lässt es so lange ruhig, bis ein Theil der Flüssigkeit verdunstet ist. Nun bringt man einen zweiten Tropfen der Mischung hinzu, und setzt nach jedesmaliger Verdunstung von Wasser und Weingeist dies Verfahren so lange fort, bis auf dem Objectträger soviel Glycerin zurückgeblieben ist, als das Präparat erfordert. Damit die gute Erhaltung des letzteren vollständig gesichert werde, ist es anzurathen, dasselbe, ehe man zum Verschluss schreitet, einige Tage liegen zu lassen, um sich zuüberzeugen, dass in der Aufbewahrungsflüssigkeit keine verdunstbaren Bestandtheile mehr vorhanden sind.

Für die Aufbewahrung von niederen Thieren und von Algen leisten auch einige von F. Meyer empfohlene Mischungen recht gute Dienste. Um diese herzustellen, bereitet man sich zunächst eine Mischung von 100 Raumtheilen Holzessig von 1,04 specifischem Gewicht mit 1 Raumtheil Salicylsäure, verbindet dann je 10 Raumtheile derselben mit je 1 Raumtheil einer der folgenden beiden Mischungen. 1 Raumtheil chemisch reinen Glycerins (1,24 spec. Gew.) mit 2 Vol. destillirten Wassers ergeben eine Flüssigkeit, welche sich für Larven von Hydra, Nematoden etc. eignet, während für Infusorien auf 1 Vol. obigen Glycerins 4 Raumtheile destillirtes Wasser kommen müssen. Für Algen wird 1 Raumtheil der ersten Mischung mit einem Volumen einer zweiten Mischung aus 1 Raumtheil Glycerin und 20 Raumtheilen destillirtem Wasser vereinigt.

Da sich in dem Glycerin beim Eindecken leicht Luftblasen bilden, muss man das Deckglas sehr sorgfältig auflegen. Am besten fasst man dasselbe mit Daumen und Zeigefinger an zwei gegenüberstehenden Kanten, haucht es an, bringt es mit dem Tropfen in Berührung und lässt es dann rasch los. Die Flüssigkeit breitet sich hierbei in der Regel zwischen den Glasflächen aus, ohne dass jene zum Vorschein kommen. Objectträger wie Deckglas müssen natürlich (was in gleicher Weise für alle anderen Aufbewahrungsarten gilt) vor dem Auflegen immer auf das Sorgfältigste, wenn nöthig mittelst Weingeistes gereinigt werden und hat man sich durch leichtes Anhauchen davon zu überzeugen, ob alle Stellen der Gläser die Feuchtigkeit gut annehmen. Sollten sich trotz aller Vorsicht Luftblasen gebildet haben, so lässt man das Präparat unverschlossen und vor Staub geschützt ein paar Tage liegen, worauf dieselben meist völlig verschwinden.

Das concentrirte Glycerin verlangt zwar keinen luftdichten Verschluss, weil es nicht verdunstet, aber man darf denselben aus anderen Gründen nicht unterlassen. Einmal würden nämlich die betreffenden Präparate ohne Verschluss sehr bequem aufzubewahren, und dann ohne Beschmutzung der Deckglasoberfläche nicht zu reinigen sein. Verdünntes Glycerin muss unbedingt hermetisch verschlossen werden.

Der Verschluss selbst erfordert grosse Vorsicht, weil er sonst wegen der den Kitt angreifenden Eigenschaft des Glycerins nicht wohl gelingt. Namentlich hat man dafür zu sorgen, dass der anzuwendende Lack oder Firniss niemals auf solche Stellen aufgetragen wird, die noch im Geringsten mit Flüssigkeit befeuchtet sind. Man bringt deshalb nie mehr von derselben auf das Präparat, als durchaus nothwendig ist. Etwas zu wenig schadet nicht. Hat man indessen etwas zu viel Glycerin aufgegeben, so muss der Objectträger um den Rand des Deckglases absolut trocken gemacht werden. Man tupft zu dem Ende das überschüssige Glycerin mit zartem Fliesspapier möglichst vollständig auf und wäscht dann mit einem in Alkohol getauchten Pinsel oder Bäuschchen aus Fliesspapier um das Deckglas herum den Objectträger so lange ab, bis er von der Benetzung ganz frei geworden ist.

Ein fester Verschluss bei übergetretenem Glycerin kann nach Prof. Hillhouse erreicht werden, wenn man als erste Lackschicht eine dickliche Lösung von Canadabalsam anwendet, welche mittelst eines ausgezogenen Glasstabes aufgetragen wird.

Bei recht dünnen Objecten verfahre ich beim Verschlusse einfach derart, dass ich auf jedes der vier Ecken des Deckglases einen Tropfen einer etwas concentrirten Lösung des betreffenden Lackes gebe und das Präparat unter eine Glocke beiseite lege, bis der letztere soweit erhärtet ist, dass er das Deckglas festhält. Hierauf werden die Ränder des letzteren mittelst eines Pinsels derart mit dem Kitte verstrichen, dass dieser sowohl über jenes als über die Umgebung 2 bis 3 mm übergreift und ein etwa 5 bis 6 iter Lackrand entsteht. Versäumt man das vor-

herige Antrocknenlassen der vier Lackstützchen, so kann das Deckgläschen beim Aufstreichen des Lackes leicht etwas verschoben werden, wodurch der letztere auf benetzte Stellen trifft und nicht haftet. Würde dabei auch das Deckglas an den anderen Stellen festgehalten, so hat man doch zu gewärtigen, dass an solchen Orten, wo der Verschluss nicht dicht ist, bei dem geringsten Druck, während des Putzens etc., Glycerin hervortritt und die Oberfläche des ersteren verunreinigt.

Für etwas stärkere Präparate kann man auch verfahren, wie Hantsch angiebt. Man bestreicht nämlich die Ränder des Deckglases, indem man es an der einen Ecke mittelst einer gut schliessenden Pincette festhält, an drei Seiten der aufzulegenden Fläche mittelst eines feinen Pinsels mit einer entsprechend dicken, schmalen Lage von Lack, und legt es unter plötzlichem Oeffnen der Pincette vorsichtig auf. Das Glycerin zieht sich dann, namentlich wenn man einen gelinden Druck anwendet, über die ganze untere Fläche des Deckglases hin, ohne Luftblasen zurückzulassen, und der Ueberschuss tritt an der offenen Stelle heraus. Ist die Procedur soweit nach Wunsch gelungen, so reinigt man den Objectträger in der vorhin beschriebenen Weise und schliesst nachdem die drei stützenden Lackrändchen getrocknet sind, vollständig, indem man die Ränder des Deckglases mit einem 2 bis 3 mm übergreifenden dünnen Lackrande versieht. Noch etwas bequemer ausführbar ist die von Schacht empfohlene, bei dem Einschluss in Chlorcalcium näher zu besprechende Anwendung von zwei parallelen Lackstreifen auf dem Objectträger, bei der man es in seiner Gewalt hat, die Dicke der Streifen der Dicke des Objectes genau anzupassen.

Ist der Rahmen des ersten Verschlusses vollkommen trocken, so streicht man zum zweiten, und wenn es nöthig wird noch zum dritten Mal eine neue Schicht eines etwas verdünnten Lackes auf, welche jedesmal über den Rand der vorhergehenden etwas übergreift, wodurch die Haltbarkeit des Verschlusses ungemein gefördert wird.

Ausser in den oben beschriebenen Weisen wird das Glycerin auch noch als Bestandtheil von solchen Gemischen verwendet, welche nach und nach erstarren. Eine derartige Mischung besteht aus gleichen Theilen von arabischem Gummi, Glycerin und gesättigter, wässeriger Lösung von arseniger Säure. Eine andere glycerinhaltige Mischung hat Schacht (Das Mikroskop und seine Anwendung 1862) empfohlen. Dieselbe soll sich namentlich für sehr kleine Körperchen eignen, die später ihren Ort in der Aufbewahrungsflüssigkeit verändern könnten. Es besteht dieselbe aus 1 Theil Gelatine, 3 Theilen Wasser und 4 Theilen Glycerin. Vor der Anwendung muss man diese Mischung, da sie erstarrt, im heissen Wasser erwärmen, um sie wieder in den flüssigen Zustand überzuführen. Ich habe die Mischung auch für andere Objecte versucht, welche sich in Glycerin aufbewahren lassen, weil sie einen leichten Verschluss gestattet, und deshalb dem reinen Glycerin für manche Fälle vorzuziehen sein möchte. Bis jetzt haben sich die Präparate darin gut

erhalten und dürften wohl Versuche damit zu empfehlen sein. Holzschnitte, die ich so aufbewahrte, liefern wenigstens ein recht schönes Bild und haben nicht im Geringsten gelitten. Die auf S. 373 beschriebene Kaiser'sche Glyceringelatine übertrifft die vorgenannten Mischungen noch an Gebrauchsfähigkeit, so dass ihre Anwendung für entsprechende Präparate wohl weiteste Verbreitung verdient. Auch die sonst von den mikroskopischen Instituten verzeichneten Präparate ähnlicher Art, die ich noch nicht in Gebrauch zu nehmen Veranlassung fand, dürften wohl ihren Zweck erfüllen. Der Verschluss von Gelatinepräparaten, obwohl nicht unumgänglich nothwendig, kann mittelst einer einzigen Lage von consistentem Lack oder Canadabalsam vollzogen werden.

325 Aufbewahrung in Gummi arabicum und reiner Gelatine. In neuester Zeit ist von Hoyer zum Ersatze der Glyceringelatine eine Lösung von Gummi arabicum in essigsaurem Kalium, essigsaurem Natrium oder in essigsaurem Ammoniak empfohlen worden, die sich nach von mir angestellten Versuchen noch nicht völlig erprobt hat, aber unter Umständen gute Dienste leisten kann und namentlich auch für Tinctionspräparate weiter versucht zu werden verdient. Die Lösung, welche nach einiger Zeit erhärtet, wird bereitet, indem man ein weithalsiges Glas zu $^3/_4$ mit ausgesuchtem Gummi arabicum in Stücken (nicht gepulvert), den Rest mit der officinellen Lösung des betreffenden Salzes fällt, bis zur Lösung stehen lässt und dann durch Wollpapier filtrirt.

Eine reine Lösung von Gelatine oder Hausenblase, welche man bereitet, indem die Substanz 24 Stunden lang in einem Ueberschuss von kaltem Wasser eingeweicht und dann über dem Wasserbade gelöst wird, ist neuerdings für solche thierische Objecte empfohlen worden, welche nicht viel Blut enthalten und bei denen man die natürliche Farbe oder die der Sichtbarmachung dienenden Färbungen, welche häufig durch Diffusion in die umgebende Flüssigkeit geschwächt oder beseitigt werden, wohl erhalten will. Die betreffenden Präparate werden von anhängender Flüssigkeit befreit, in einen Tropfen der Lösung eingelegt, um sie davon durchdringen zu lassen, und nachdem dieses geschehen, ein paar Stunden lang trocknen gelassen, bis die äussere Schicht der Gelatine oder Hausenblase erstarrt ist. Hierauf senkt man den Objectträger in eine flache, mit absolutem Alkohol gefüllte, bedeckte Schale und lässt ihn etwa 24 Stunden darin, wonach die Einschlussmasse vollständig genug erhärtet ist, um das Präparat in früher beschriebener Weise weiter zu behandeln.

326 Aufbewahrung in Chlorcalcium. Die Chlorcalciumlösung, 1 Theil chemisch reines, wasserfreies Chlorcalcium auf 3 Theile destillirtes Wasser, in welcher sich mir über 20 Jahre alte Präparate prachtvoll erhalten haben, hat mit Recht, namentlich bei den Pflanzenhistologen, eine weite Verbreitung als Aufbewahrungsflüssigkeit gefunden, da sie sich

für alle solche, sowohl härtere, als zartere Objecte eignet, von denen man ein möglichst scharfes Bild haben will und deren Inhalt durch dieselbe nicht zu stark leidet. Für Präparate, in denen man die natürliche Farbe des Chlorophylls oder anderer Pflanzenfarbstoffe zu erhalten wünscht, ist diese Flüssigkeit dagegen durchaus nicht geeignet. Ebensowenig passt sie zur Aufbewahrung solcher Objecte, in denen das Stärkemehl als Inhalt der Zellen erscheint, und sobald es darauf ankommt, dessen Structur zu erhalten; denn schon nach wenigen Tagen quellen die Stärkekörner auf, verlieren mehr und mehr ihre Schichtung und werden zu einem formlosen Kleister. Auch die Plasmasubstanzen erleiden gewisse Störungen durch diese Lösung, indem sie coaguliren und sich von den Wänden der Zellen und Gefässe zurückziehen. Dieser Umstand kann selbst da, wo an der Erhaltung des Inhaltes in seiner ursprünglichen Form nichts gelegen ist, auf das Präparat nachtheilig einwirken, da das ganze Bild dadurch getrübt wird. Solchen Nachtheilen entgeht man indessen, wenn man das Chlorcalcium in verdünntem Zustande anwendet und ein ähnliches, wie das weiter oben bei der Hantsch'schen Mischung besprochene Verfahren einschlägt, d. h. zuerst mit stark verdünnten Lösungen beginnt, und erst nach und nach zu stärkeren aber immer noch verdünnten Lösungen übergeht. So behandelt halten sich auch sehr zarte Präparate aus der Entwickelungsgeschichte der Pflanzenhistologie, ebenso zarte thierische Gegenstände recht gut.

Manchmal erleidet die Chlorcalciumlösung eine Trübung, indem salzsaurer Kalk auskrystallisirt und das Präparat verdirbt. Es hat namentlich Schacht darauf hingewiesen, und ist mir selbst diese Erscheinung bei manchen, doch nicht bei allen Lösungen vorgekommen. Man entgeht diesem Uebelstande, wenn man dem Chlorcalcium einige Tropfen chemisch reiner Salzsäure zusetzt, und so die Lösung wenig ansäuert.

Obwohl das Chlorcalcium sehr hygroskopisch ist, verdunstet doch immer etwas von dem Wasser, namentlich der verdünnteren Lösungen, so dass es für alle Fälle gerathen erscheint, den Verschluss der Präparate vollkommen luftdicht herzustellen.

Bei recht dünnen Schnitten solcher Gewebe, denen ein durch das Trocknen des Kittes hervorgerufener Druck keinen Schaden zufügt, ist das Verfahren des Einlegens höchst einfach.

Gehörige Reinheit von Objectträger und Deckglas vorausgesetzt, bringt man das Object in einem Tropfen reinen Wassers auf den ersteren, nimmt das letztere mit einem Pinsel fast sämmtlich von dem Präparate auf, ohne dieses selbst zu berühren oder zu verrücken, und giebt eine hinreichende Menge des Chlorcalciums mittelst eines Glasstabes, oder noch besser mittelst eines etwas ausgezogenen gleichsam einen Miniaturstechheber vorstellenden Glasröhrchens zu. Schliesslich legt man das vorher angehauchte Deckglas langsam auf. Die Flüssigkeit wird dann den Raum zwischen diesem letzteren und dem Objectträger

vollständig ausfüllen, ohne dass Luft zurückgelassen wird. Sollten indessen einige Luftbläschen geblieben sein, so lassen sich diese leicht entfernen, wenn man mit dem Hefte einer Präparirnadel schwach auf das Deckgläschen klopft und jene so allmälig nach dem Rande hin- und austreibt.

Ehe man zum Verschluss schreitet, hat man vor allen Dingen dafür Sorge zu tragen, dass um den Rand des Deckglases der Objectträger von aller etwa überfliessenden Chlorcalciumlösung befreit und gehörig getrocknet wird, weil sonst der Kitt nicht greift. So gar ängstlich, wie bei Glycerinpräparaten, braucht man indessen hier nicht zu sein, da z. B. der Maskenlack auch recht gut auf noch etwas feuchten Stellen haftet.

Der Verschluss kann einfach durch Auftragen eines etwas breiten Lackrandes bewirkt werden. Man kann aber auch so verfahren, wie ich oben bei den Glycerinpräparaten, angegeben habe, d. h. man giebt auf die vier Ecken des Deckglases auf den Objectträger übergreifende Tropfen von Lack, lässt diese einige Stunden trocknen, und verschliesst dann sämmtliche Ränder durch mehrmalige Lacküberzüge. Sollte während des Trocknens der zum vorläufigen Festhalten des Deckglases dienenden Lacktropfen etwas von der Flüssigkeit verdunsten, so lässt sich der Verlust durch einen neuen Tropfen ersetzen, den man mittelst eines feinen ausgezogenen Glasstäbchens an den Rand des Deckglases bringt. Man muss dabei nur die Vorsicht beobachten, dass man die neue Flüssigkeit von der Seite des leeren Raumes, d. h. von den noch benetzten Stellen des Zwischenraumes an einziehen lässt, und diese nicht dicht vor jenen bringt, weil sonst leicht der vordere Theil des leeren Raumes ganz ausgefüllt wird und dahinter ein lufterfüllter Raum bleibt.

Wo man es mit etwas dickeren oder solchen Präparaten zu thun hat, welche keinen Druck vertragen, da erleidet das Verschlussverfahren einige Abänderungen, die sich indessen auch für dünnere Schnitte ebensogut anwenden lassen, und dem weniger Geübten den Verschluss erleichtern.

Das von Professor Welcker für derartige Präparate empfohlene Verfahren, den Saum des Deckglases mit einem dünnen Wachsrande zu umgeben, ehe man zum Lackverschlusse schreitet, gewährt sehr befriedigende Resultate, wenn während der Ausführung des ersteren mit der gehörigen Vorsicht zu Werke gegangen und keine Störung in der Lage des Deckglases hervorgerufen worden ist, so dass das Wachs überall auf von Chlorcalcium freie, trockene Stellen des Objectträgers trifft. Dies ist aber allerdings oftmals gerade sehr schwer zu erreichen, indem man beim Aufbringen des Wachsrandes leicht das Deckglas etwas aus seiner Lage rücken kann. Den Wachsrand kann man einfach mittelst einer kleinen Wachskerze herstellen, deren Docht meisselförmig zugeschnitten und über der Weingeistlampe soweit erwärmt worden ist, dass das Wachs gerade anfängt zu fliessen, ohne dass der Docht selbst gebräunt worden ist. Die Hauptsache bei diesem ersten Verschlusse ist, dass der Wachs-

rand nicht zu dick wird, weil er sonst den weiteren Verschluss mittelst des Lackes hindert. Der möglichst flache Wachsrand darf, wenn er als ganz gelungen zu betrachten sein soll, nur etwa 2 mm breit sein und etwa 1 mm über den Deckglasrand übergreifen. Beim Verstreichen mit Lack, was niemals unterlassen werden darf und wozu man den Oschatz'schen Kitt oder den nach v. Mohl abgeänderten Asphaltlack nehmen sollte, da sich der Maskenlack z. B. nicht gut eignet, muss darauf geachtet werden, dass dieser etwas über die Wachsränder übergreift, weil anderenfalls der Verschluss nicht fest genug haften würde. Die späteren Lackschichten werden ganz so behandelt wie oben angegeben.

Nach dem einfacheren Verfahren von Schacht zieht man zwei etwa 5 mm breite parallele Lackstreifen, deren Entfernung sich nach den Dimensionen des Deckglases richtet und immer etwas kleiner sein muss als dessen Seitenlänge. Noch sicherer sind drei Lackstreifen, welche ein nach der vierten Seite offenes Quadrat bilden, und bei denen sich der freie Raum auf dem Objectträger nach der Grösse des Deckglases richtet, dessen Ränder etwas über die Streifen übergreifen müssen. Die Dicke der Streifen hat sich natürlich nach dem einzulegenden Objecte zu richten. Für dünnere Schnitte genügt meistens ein einmaliges Auftragen des Lackes, während dickere Präparate eine öftere Wiederholung dieser Operation verlangen, nachdem vorher die frühere Lage fast getrocknet war. Sind die Streifen sauber ausgeführt, so lässt man sie soweit eintrocknen, dass der Lack zwar nicht mehr zu weich ist und fliesst, doch aber einem leichten Druck auf das Deckglas nachgiebt und gut an diesem klebt.

Auf den so hergerichteten Objectträger bringt man in den freien Raum zwischen den Streifen eine hinreichende Menge der Chlorcalciumlösung und in diese das Präparat. Das Deckglas legt man mittelst einer Pincette vorsichtig derart auf, dass man es, mit seinem hinteren Rande auf der der offenen Seite des Rahmens gegenüberliegenden Seite dieses letzteren ruhend, langsam niedersinken lässt. So zieht sich die Flüssigkeit gleichmässig unter dem Deckglase hin, und es wird nur selten vorkommen, dass Luftblasen zurückbleiben. Der etwa vorhandene Ueberschuss der Lösung tritt an der offenen Seite heraus, und kann mittelst weichen Fliesspapieres oder eines etwas breitgedrückten Pinsels entfernt werden. Ebenso kann man auf die weiter oben erwähnte Weise Flüssigkeit nachgeben, wenn diese in zu geringer Menge vorhanden war, so dass der Zwischenraum zwischen Objectträger und Deckglas nicht vollkommen ausgefüllt wurde. Der vollständige Verschluss wird sofort nach der Befreiung des Objectträgers von aller Feuchtigkeit in der Art vorgenommen, dass man zuerst die offene Seite des Quadrates und dann die übrigen mittelst dickeren Lackes verstreicht. Nach Verlauf von einem halben Tage ist der letztere soweit trocken geworden, dass man mittelst wiederholten Auftragens einer zweiten und dritten Schicht des dünneren Lackes den Verschluss in der oben geschilderten Weise vollenden kann.

327 Aufbewahrung in essigsaurem Kalium. Statt der Chlorcalciumlösung ist von Dr. Sanio (Bot. Zeitung, 1863, Nr. 47, Seite 359) für Pflanzenpräparate, namentlich für sehr zarte Objecte der vegetabilischen Entwickelungsgeschichte, eine gesättigte Lösung des durch seine wasseranziehende Kraft ausgezeichneten essigsauren Kaliums empfohlen worden. Man verwendet hierzu am zweckmässigsten die officinelle Lösung und lässt davon unter Luftzutritt soviel Wasser abdunsten, dass sie gerade gesättigt ist. Ich habe diese Aufbewahrungsflüssigkeit mehrfach angewendet und kann nach jahrelangem Gebrauche derselben die Angaben Sanio's bestätigen. Vorzugsweise schön finde ich darin bewahrte Theilungszustände von Ulothrix zonata. Die Fäden sind nach Monaten noch so gut erhalten, als ob sie frisch eingelegt seien; es ist darin weder eine Schrumpfung der Zelle noch eine merkliche Veränderung der Farbe des Chlorophylls wahrzunehmen. Für manche solcher vegetabilischer Präparate, in denen man das Chlorophyll zu bewahren und in dem Inhalt die möglichst geringste Störung hervorgerufen wünscht, dürfte sich das essigsaure Kali ganz besonders empfehlen; es wird aber ebenso gut auch für alle anderen Objecte der Pflanzenhistologie verwendet werden können. Ueber sein Verhalten den thierischen Geweben gegenüber habe ich selbst keine Erfahrungen gemacht, dagegen hat der verstorbene Max Schultze dasselbe für gewisse Objecte, namentlich bei Osmiumpräparaten, welche das Glycerin nicht vertragen, erprobt gefunden. Er gab dabei das Mittel bei den in Wasser oder einer indifferenten Flüssigkeit liegenden und eingedeckten Objecten an den Rand des Deckglases und kittete erst ein, nachdem das verdunstende Wasser vollständig durch die Salzlösung ersetzt war.

328 Aufbewahrung in einfachen, verdunstenden Flüssigkeiten. Von den einfachen verdunstenden wässerigen Aufbewahrungsflüssigkeiten sind vorzugsweise Lösungen von Zucker, Kreosot und Salzen, verdünnte Essigsäure, verdünnter Alkohol und dergleichen im Gebrauche.

Die Zuckerlösung, welche zuerst von Schleiden und dann auch von Schacht empfohlen worden ist, bereitet man sich aus 1 Theil Syrupus simplex auf 2 Theile Wasser, denen man, um Gährung zu verhindern, etwas Sublimatlösung oder Chloralhydrat zufügt. Sie eignet sich für alle sehr zarten Präparate, indem sich dieselben, abgesehen von einer geringen Aufhellung, darin fast unverändert erhalten. Für diese Lösung dürfte indessen in dem essigsauren Kalium ein um so willkommenerer Ersatz gefunden sein, als bei dem letzteren der Verschluss weit sicherer und ein Verdunsten nicht zu fürchten ist.

Die Kreosotlösung erhält man durch Vermischen einer filtrirten gesättigten Kreosotlösung mit gleichen Theilen 32gradigen Weingeistes und 20 Theilen destillirten Wassers. Es eignet sich dieselbe nach Harting namentlich für manche thierische Präparate, z. B. von Muskeln, Bindegewebe, Sehnen, Knorpel, für Durchschnitte von Knochen und Zähnen,

für die Fasern der Krystalllinse etc. Für diese Objecte kann man indessen statt der Kreosotlösung eine Lösung von arseniger Säure benutzen, in der sich auch solche Gewebe aufbewahren lassen, welche das Kreosot nicht vertragen. Man bereitet sich diese Flüssigkeit nach Harting, indem man einen Ueberschuss arseniger Säure mit Wasser kocht, nach der Abkühlung filtrirt und das Filtrat mit der dreifachen Menge Wassers verdünnt.

Verdünnte Kochsalzlösung von 1 Theil Salz auf 200 Theile Wasser wurde von manchen Beobachtern zur Aufbewahrung zelliger thierischer Gewebe empfohlen.

Eine Lösung von kohlensaurem Kalium in 200 bis 500 Theilen destillirtem Wasser wird von Harting als ausgezeichnete Aufbewahrungsflüssigkeit für die Nervenprimitivröhren empfohlen, und soll sich auch gut für andere faserige Gewebe eignen, bei denen eine Aufhellung nicht schadet oder gar erwünscht ist.

Die Lösung von doppeltchromsaurem Kalium eignet sich in mässiger Verdünnung recht gut zur Aufbewahrung mancher thierischer Präparate. Vor Allem aber dürfte sie für solche Präparate aus der vegetabilischen Gewebelehre geeignet sein, in denen man die Vertheilung der Gerbstoffe zur Anschauung bringen will, und die man vorher schon mit einer concentrirteren Lösung des Salzes behandelt hatte. Auch das Stärkemehl erhält sich ganz schön darin, und es tritt seine Schichtung sehr deutlich hervor.

Stark verdünnte Lösungen von Sublimat sind von Harting als Aufbewahrungsflüssigkeit sowohl für vegetabilische als thierische Präparate empfohlen worden, und bewähren sich auch in mancher Hinsicht recht gut, namentlich wenn man den von Harting gegebenen Rath befolgt und erst durch Versuche denjenigen Concentrationsgrad ermittelt, welchen ein bestimmtes Object am besten verträgt. Harting hebt namentlich die Brauchbarkeit dieser Lösungen für die Aufbewahrung von Blutkörperchen hervor und empfiehlt für das Blut des Menschen und der Säugethiere eine Lösung von 1 : 200, für das der Vögel von 1 : 300, für jenes des Frosches von 1 : 400. Ausser für das Blut eignet sich Sublimat nur noch für Präparate von Knorpel, Muskeln und der Krystalllinse. Was die Anwendbarkeit für Pflanzenpräparate betrifft, so kann ich die Angaben von Harting nicht ganz bestätigen. Das Stärkemehl erhält sich wohl darin, das Chlorophyll aber verblasst, und selbst bei Lösungen von 1 : 600, wie ich sie angewendet habe, treten hier und da in den zarten Algenzellen ziemlich bedeutende Schrumpfungen ein. Dagegen eignen sich solche verdünnte Lösungen sehr gut für Präparate, in denen man die Kerne nebst den von ihnen ausstrahlenden Protoplasmaströmchen zur Anschauung bringen will, die darin bedeutend dunkler werden.

Verdünnte Essigsäure dürfte sich vor Allem da empfehlen, wo man das Hervortreten mancher Elementartheile, z. B. der Zellkerne, der

Nervenröhren, bewirken oder gewisse, mittelst derselben aufgehellte Structurverhältnisse in diesem Zustande erhalten will.

Alkohol in einer 5- bis 8maligen Verdünnung mit Wasser findet nur für einzelne Präparate der thierischen Gewebelehre Anwendung, die man von in demselben Mittel bewahrten Körpertheilen etc. gewonnen hat und welche dann bestimmte Structuren zeigen. Derartig aufgelegte Präparate sind am allerschwersten luftdicht zu verschliessen, weshalb man den Alkohol als Aufbewahrungsflüssigkeit schon aus diesem Grunde so viel als thunlich umgehen wird.

In neuerer Zeit ist auch Levulose, welche aus chemischen Fabriken in geeigneter Beschaffenheit bezogen werden kann, als Aufbewahrungsmittel für Hartgebilde, Knochen und namentlich für in Anilinlösungen gefärbte Präparate, welche ihre Färbung darin gut bewahren sollen, empfohlen worden (Frey).

329 Aufbewahrung in zusammengesetzten, verdunstenden Mischungen. Von zusammengesetzteren Mischungen sind im Laufe der Zeit eine ganze Menge empfohlen worden, deren Werth zum Theil ein illusorischer ist, indem sie ohne Schaden für das Präparat durch eine oder die andere der erwähnten einfacheren Flüssigkeiten vertreten werden können. Ich werde mich daher auch auf einige wenige der für gewisse Objecte besonders geeigneten und erprobten beschränken.

Zunächst verdienen die sogenannten Pacini'schen Gemische Beachtung, welche Abänderungen des „Liqueur conservatoire" darstellen, der sich als Aufbewahrungsflüssigkeit für durchsichtige Präparate als ziemlich unbrauchbar erwiesen hat. Pacini hat zwei verschiedene Mischungen empfohlen. Die erste derselben soll sich namentlich für alle zarte proteïnhaltige Gewebe, für Blutkörperchen, Nerven, Ganglien, Krebszellen, Retinapräparate etc. eignen. Sie besteht aus 1 Theil Sublimat, 2 Theilen Kochsalz, 13 Theilen Glycerin (von 25° Beaumé) und 113 Theilen destillirtem Wasser. Vor dem Gebrauche wird das Gemisch wenigstens 2 Monate stehen gelassen, dann 1 Theil davon mit 3 Theilen destillirten Wassers verdünnt und filtrirt. Die andere Mischung, welche aus 1 Theil Sublimat, 2 Theilen Essigsäure, 43 Theilen Glycerin und 215 Theilen destillirtem Wasser besteht, und ähnlich behandelt wird wie die erste, zeichnet sich namentlich dadurch aus, dass sie die farbigen Blutkörperchen zerstört, während die farblosen unversehrt erhalten bleiben.

Einige Abänderungen dieser Gemische, welche ich dem Werke von Frey entnehme, werden in dem physiologischen Institute zu Berlin für verschiedene Gewebe in Anwendung gebracht und dürften zu weiteren Versuchen umsomehr zu empfehlen sein, als sie sich leicht herstellen lassen.

So dient z. B. eine Mischung von 1 Theil Sublimat, 2 Theilen Kochsalz und 100 Theilen Wasser zur Aufbewahrung gefässreicher Gewebe der warmblütigen, eine solche von 1 Theil Sublimat, 5 Theilen Kochsalz

und 200 Theilen Wasser für jene der kaltblütigen Thiere, ein Gemisch von 1 Theil Sublimat, 1 Theil Kochsalz und 300 Theilen Wasser für Eiterkörperchen und verwandte Gebilde, von 1 Theil Sublimat und 300 Theilen Wasser für Blutkörperchen, von 1 Theil Sublimat, 1 Theil Essigsäure und 300 Theilen Wasser für Epithelialzellen, Bindegewebe und Eiterzellen, in denen die Kerne hervortreten sollen, von 1 Theil Sublimat, 3 Theilen Essigsäure und 300 Theilen Wasser für Bindegewebe, Muskeln und Nerven, von 1 Theil Sublimat, 5 Theilen Essigsäure und 300 Theilen Wasser für Drüsen, von 1 Theil Sublimat, 1 Theil Phosphorsäure und 30 Theilen Wasser für Knorpelgewebe.

Für Pflanzengewebe sind von Grönland, Cornu und Rives („De preparations microscopiques tirées du regne vegetale etc.“ Paris 1872) einige Mischungen empfohlen worden, von denen diejenigen, welche sich für zartere Structuren eignen, hier erwähnt sein mögen.

Chloroform 2 g in 100 ccm destillirtem Wasser etwa 5 bis 10 Minuten geschüttelt, bis sich etwa 1 g des ersteren gelöst hat, während der zu Boden gesunkene Rest dazu dienen kann, die Lösung gesättigt zu erhalten, giebt ein Einschlussmittel, in welchem sich entwickelungsgeschichtliche Präparate, wie z. B. Vorkeime, Archegonien etc. in ihren verschiedenen Entwickelungsstadien aufbewahren lassen. Werden dieser Lösung 4 bis 5 g Essigsäure zugefügt, so können Conferven, deren Chlorophyll allerdings etwas bräunlich gefärbt wird, mit guter Erhaltung des Zellkörpers darin erhalten werden. Für solche Präparate, welche Luft enthalten, dürfte sie sich ebenfalls empfehlen, da schon nach wenigen Tagen die Luftblasen und Lufteinschlüsse aufgesogen erscheinen. Eine gesättigte Lösung von Campher in Chloroform, die, nachdem aller überschüssige Campher entfernt worden, mit der gleichen Menge des Lösungsmittels verdünnt worden ist und von der dann 4 g in einem Liter destillirten Wassers gelöst wurden, giebt eine Flüssigkeit, welche den Plasmakörper nur wenig alterirt und daher für solche frische Präparate verwendet werden kann, in denen man diesen möglichst zu erhalten wünscht. So können z. B. Desmidiaceen, Diatomeen etc. in dieselbe eingeschlossen werden. Zarte Fadenalgen sollen ihre Structur sehr gut bewahren in einer Mischung von 75 g Champherwasser, 75 g destillirtem Wasser und 1 g Eisessig.

Alle die beschriebenen Lösungen haben das mit einander gemein, dass sie, um vor dem Eintrocknen geschützt zu werden und die ursprüngliche Zusammensetzung der complicirteren Gemische zu bewahren, einen vollkommen luftdichten Verschluss verlangen. Als recht geeignet hierfür habe ich den Oschatz'schen Kitt aus Zinkweiss und Copalfirniss gefunden, der, wenn er zu stark eingetrocknet ist, mittelst Copals wieder auf den gehörigen Consistenzgrad gebracht werden kann. Man erreicht indessen seinen Zweck auch ganz gut mittelst Anwendung der oben genannten Verschlussmittel, wenn man nur mit der gehörigen Vorsicht verfährt und namentlich die Lackstreifen nicht zu stark eintrocknen lässt, so dass das

Deckglas etwas in dieselben eindrückt, und wenn man die offene Seite mit einem etwas consistenten Lack verschliesst. Dabei hilft ein kleiner Kunstgriff nicht wenig. Man giebt nämlich nur soviel Aufbewahrungsflüssigkeit zu dem Präparate, dass dieselbe den Innenraum nach dem Auflegen des Deckglases nicht ganz ausfüllt und nach der offenen Seite hin ein schmaler Streifen zwischen Objectträger und Deckglas trocken bleibt, was mittelst einiger Vorsicht leicht erreicht wird. Nun streicht man den Lack etwas scharf in die Kante. Es füllt dann ein Theil desselben den frei gebliebenen Raum aus, und man erzielt, nachdem man den Lackrahmen noch zwei- bis dreimal erneuert hat, einen vollkommen dichten Verschluss. Hier dürfte sich auch die Welcker'sche Verschlussmethode mittelst Wachses als vorzugsweise geeignet empfehlen.

30 **Serienpräparate.** Die für manche Objecte höchst wichtige Anfertigung von Serienpräparaten, welche für mittelst Paraffineinbettung hergestellte und in reinem Canadabalsam einzuschliessende Schnitte, in der zoologischen Station zu Neapel zuerst von Dr. Giesbrecht ausgeführt worden ist, hat in neuester Zeit durch Frenzel, Thralfall, Flögel, Schällibaum und Mayer verschiedene Abänderungen erfahren und ist durch die Verfahrungsweisen der letztgenannten auf Schnitte mittelst der verschiedenen Einbettungsmethoden, sowie auf solche, welche nach der Festbringung erst gefärbt und in Harze oder in Glycerin u. s. w. eingelegt werden sollen, ausgedehnt worden.

Wir können hier nicht alle diese Verfahrungsweisen anführen und beschränken uns daher auf die verhältnissmässig leicht ausführbaren und sichere Resultate gewährenden Methoden von Schallibaum und Mayer.

Eine Anzahl von Objectträgern wird mittelst einer mit Pinsel kalt aufzutragenden Lösung von 1 Raumtheil Collodium in 3 bis 4 Raumtheilen Nelken- oder Lavendelöl (Schallibaum) oder einer durch einen geringen Zusatz von Carbolsäure klar zu haltenden Mischung von gleichen Raumtheilen aus filtrirtem Eiweiss und Glycerin (Mayer) mit einem ganz dünnen und vollkommen gleichmässigen Ueberzuge versehen. Die Schnitte werden nun unmittelbar von dem Messer aus auf den (bei dem Mayer'schen Verfahren durch das Glycerin feucht erhaltenen) Ueberzug aufgelegt, der Objectträger auf ein vorher etwa auf 55° C. erwärmtes Wasserbad, zu welchem sich besonders gut kleine parallelepipedische, etwa 200 ccm Inhalt fassende Blechkästchen eignen, gebracht und einige Minuten darauf liegen gelassen, bis sie festgeklebt sind und nun ohne alle Gefahr mit Wasser, Färbeflüssigkeiten, Alkohol und flüchtigen Oelen behandelt werden können, je nachdem dies die spätere Behandlungs- und Einschlussweise erfordert.

31 **Verschluss bei runden Deckgläsern.** In neuerer Zeit hat man zur Bedeckung der Dauerpräparate mehrseitig runde Deckgläschen empfohlen, deren Vortheile ich dahin gestellt sein lassen will, obwohl ich mich nicht dafür begeistern kann. Der Verschluss erfordert dann für sämmt-

liche Einschlussmittel eine etwas andere Handhabung und die Anwendung des kleinen Apparates (Fig. 242), welcher unter dem Namen „Drehtisch“ bekannt ist und von den meisten optischen Werkstätten um den Preis von 9 bis 12 Mark geliefert wird. Das zu verkittende Präparat wird, nachdem man das Deckglas in der oben beschriebenen Weise durch etwa 2 bis 3 Lacktropfen vorläufig festgelegt hat, mittelst der auf der drehbaren Scheibe befindlichen Federklammer eingeklemmt und so orientirt, dass das Deckglas genau centrirt ist, was durch die auf der Scheibe verzeichneten concentrischen Kreise erleichtert wird. Hierauf füllt man

Fig. 242.



einen ziemlich dünnen Pinsel mit leichtflüssigem Lack mässig an, so dass sich keine Tropfen bilden, drückt denselben in senkrechter Stellung leicht an den Rand des Deckglases und setzt die Scheibe mittelst der linken Hand in langsame Drehung. Nach und nach kann man während der Scheibenbewegung dem Pinsel einen etwas verstärkten Druck geben und wird so nach einiger Uebung bald einen guten Lackrahmen zu Wege bringen.

Aufbewahrung voluminöser Präparate. In der Regel wird man mit den geschilderten Verfahrungsweisen für die Aufbewahrung histologischer Objecte ausreichen. Für einzelne Fälle jedoch, namentlich für Injectionspräparate sowie manche andere Objecte aus der thierischen Gewebelehre und Entwickelungsgeschichte, für morphologische Präparate des Pflanzenreiches, für durchsichtige niedere Thiere und Pflanzen, die ganz oder in gewissen Theilen aufbewahrt werden sollen, und die eine ziemlich bedeutende Dicke besitzen, verlangt das Verfahren eine entsprechende Abänderung. Man reicht hier mit dem einfachen Objectträger, Deckglas und Kitt nicht mehr aus. Es muss vielmehr ein mehr oder minder tiefer Hohlraum auf dem ersteren hergestellt werden, welcher das betreffende Object sammt der es umspülenden Flüssigkeit aufnimmt. Diese Hohlräume sind unter dem Namen der Zellen bekannt und mancherlei Vorschriften zu deren Anfertigung im Umlauf. So hat man Zellen aus Guttapercha, Kautschuk, Stanniol, Glas und verschiedenen dickflüssigen Kittmassen. Zu Kautschuk- und Guttaperchazellen kann ich kein grosses Vertrauen fassen, ausserdem ist die ganze Manipulation zu ihrer Her-

stellung mit allerlei Umständlichkeiten verknüpft, so dass ich dies nicht zu empfehlen vermag und mich daher auf deren Anfertigung nicht weiter einlassen. Ich ziehe, wo es irgend geht, die aus dem zum Verschlusse dienenden Kitte oder Lack verfertigten Zellen vor, aber da, wo diese nicht ausreichen, zu Glaszellen, die ich mir ent auf die weiter unten beschriebene Weise herstelle oder fertig bezieh

Die aus Kitt oder Lack angefertigten Zellen sind überall d wendbar, wo die Dicke des aufzubewahrenden Präparates keine bedeutende, etwa eine in der Grenze zwischen $^1/_2$ bis 1 mm sich beweg ist. Man verfährt bei deren Herstellung ebenso, wie es oben vo Lackstreifen und Lackringen beschrieben wurde, und giebt ihne passende Höhe durch mehrfaches Auftragen. Höhe und Form müsse natürlich nach dem aufzubewahrenden Objecte richten und kann die le je nach Umständen ein Quadrat, ein Rechteck oder einen Kreis bilden, der Lackwall etwa die Breite von 5 bis 6 mm erhält. Diese Zellen f man sich am besten jedesmal beim Bedarf an und lässt den Lack Kitt gerade soweit trocken werden, dass er dem Druck des Deckglase nachgiebt und so eine vollständig ebene Unterlage dieses letzteren Will man sich Zellen vorräthig anfertigen, so ebnet man den Ra dadurch, dass man ihn in dem oben erwähnten Stadium des Troc auf eine Glasplatte aufdrückt, wobei man ausserdem erreicht, dass selbe auf allen Seiten von gleicher Höhe wird, was bei trockenen nicht ohne Einfluss auf einen vollkommen dichten Verschluss ist.

Glaszellen erhält man für dünnere Objecte in verschiedener von 0,5 mm an. Hat man dickere Objecte aufzubewahren, so greif zu aus verschieden dickem Glase bestehenden Zellen. Am billigste einfachsten stellt man sich dieselben eigenhändig her. Man läss nämlich 3 bis 4 mm breite Glasstreifen aus entsprechendem Spieg schneiden, von denen die einen eine Länge von etwa 20 bis 25 m anderen von 12 bis 16 mm haben und baut daraus seine Zellen in eckiger oder quadratischer Form auf, indem man die Glasstreife weder mittelst Canadabalsams, einer dicken weingeistigen Schellack oder des zum Verschlusse dienenden Lackes auf dem Objectträge kittet (Fig. 243).

Fig. 243.



Die fertig bezogenen Glaszellen wählt man je nach der For verwendeten Deckgläschen von rechteckiger, quadratischer oder r Form mit rundem oder länglichrundem Ausschnitt und befestig selben in angegebener Weise auf dem Objectträger.

Zellen aus Guttapercha- und Gummiplatten erhält man ebenfalls käuflich. Dieselben sind aber — schon wegen des Befestigens — meiner Ansicht nach weniger zu empfehlen, als diejenigen aus Glas.

Beim Aufbringen der Präparate hat man hier mit besonderer Vorsicht zu verfahren, um einen dichten und vollkommen haltbaren Verschluss zu erreichen.

Zunächst ist die Grösse des Deckglases so zu wählen, dass dasselbe den Innenrand des Zellwalles um mindestens 1 bis $1^1/_2$ mm überragt, von dem Aussenrand aber ebensoweit zurückbleibt. Dann hat man darauf zu achten, dass der innere Raum der Zelle vollständig mit Flüssigkeit erfüllt wird und durchaus keine Luft zurückbleibt, die gerade hier sehr störend wirken würde. Um dieses zu erreichen, schiebt man am besten das Deckglas von dem einen Rande her allmälig und vorsichtig über den Zellwall hin, wobei die überschüssige Flüssigkeit aus der Zelle verdrängt wird, ohne dass Luft hinzutreten kann. Einige Uebung wird in dieser Manipulation bald die nöthige Fertigkeit gewähren, so dass das Auflegen ganz nach Wunsch gelingt.

Ist das Deckglas aufgelegt, so entfernt man mittelst Fliesspapieres oder Pinsels die auf den Rand der Zelle getretene Flüssigkeit, trocknet denselben vollständig rein ab, verstreicht zuerst die oberen Ränder von Deckglas und Zelle und umgiebt dann die letztere auch noch von aussen mit einer Lackschicht. Die weitere Behandlung erfolgt in der oben geschilderten Weise, und kann man das Präparat als gelungen betrachten, wenn nach mehrere Tage langem Liegen sich keine Luftblasen zeigen.

Bezeichnung der Präparate. Die letzte Arbeit, welche bei den aufzubewahrenden Präparaten stattzufinden hat, besteht in deren Bezeichnung. Diese bringt man am zweckmässigsten auf — zur leichteren Vermeidung des Beschmutztwerdens — farbigen Papier- oder Cartonstreifen an, welche man in der bekannten Form käuflich erhält, oder sich selbst — und zwar der Form der verwendeten Objectträger entsprechend — zuschneidet. Eine derartige Etikette, welche an einer, oder auch an den beiden schmalen Seiten des Objectträgers mittelst Gummilösung besser noch mittelst sogenannten Krystallpalastlackes aufgeklebt wird, muss zunächst den Namen der Pflanze oder des Thieres, wovon das Präparat abstammt, und dann seine nähere Bezeichnung enthalten, z. B.: 333

Fig. 244.

Pteris aquilina.

Treppengefässe, macerirt.

Ist auf derselben (bei zweien ist dies selbstverständlich besser zu erreichen) noch Raum vorhanden, so ist es zweckmässig, unter anderen auch

die Fixirungsmethode, das Färbungsmittel, sowie Aufbewahrungsflüssigkeit anzumerken. Dies lässt sich leicht durch ein paar Buchstaben bewerkstelligen, indem man z. B. Pik. Alc. für Pikrinsäure oder Alkohol, Cm. für Carmin, Hx. für Haematoxylin, C. B. für Canadabalsam, Gl. für Glycerin, Chl. C. für Chlorcalcium setzt u. s. w.

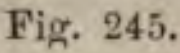
Manche Mikroskopiker versehen ihre Präparate zu beiden Seiten mit sogenannten Schutzleisten, d. h. mit kleinen Glasleisten, welche mittelst Wasserglases, Canadabalsams oder Gummi arabicums auf den Objectträger befestigt werden. Ich kann dieselben nur für den Fall empfehlen, dass Präparate beim Versenden auf einander gelegt werden sollen. Bei der hie und da noch vielfach üblichen Einordnungsmethode der Präparate sind diese Leisten allerdings nöthig, um Druck, Zerbrechen und andere Beschädigungen zu vermeiden. Sie führen indessen beim Betrachten der fertigen Präparate in Folge ihrer Dicke eine grosse Unbequemlichkeit mit sich, indem sie, wenn man dem Objecte nicht eine für die Beobachtung oft unpassende Lage geben will, verhindern, dass man den Abstand des Objectivsystemes von der Oberfläche des Deckglases beobachten kann. Hierdurch aber wird, namentlich bei stärkeren Systemen, die Einstellung erschwert und zeitraubend gemacht. Besser ist es, die Etiketten durch Aufkleben auf passenden Carton soweit zu verstärken, dass deren Dicke eben hinreicht, um bei der Einordnung die Berührung der Unterseite des überliegenden Objectträgers mit der Verkittungsmasse zu verhüten. Man erreicht dann den erforderlichen Schutz der Präparate, ohne bei der Beobachtung allzusehr gehindert zu sein. Da die Präparate der Beobachtung wegen vorhanden sind, so sollte man sich diese auf jede mögliche Weise zu erleichtern und zeitersparend zu machen suchen. Statt der Einordnungsweise halber die Handlichkeit des Präparates zu beeinträchtigen, sollte man lieber der letzteren halber die erstere in geeigneter, gleich näher zu beschreibender Weise einrichten.

334 **Einordnung der Präparate.** Die Einordnung der Präparate geschieht in aus Holz oder Pappe verfertigten Kästchen. Manche Mikroskopiker benutzen flache, schiebladenähnliche Kästchen, in denen entweder nur eine Lage von Präparaten (Harting) oder mehrere Lagen über einander geschichtet (Schacht) untergebracht werden. Andere gebrauchen prismatische Kästchen (wie sie von Vogel in Giessen zu beziehen sind), in denen 40 bis 50 mit Schutzleisten versehene Präparate über einander stehen und welche ihrerseits wieder derart in grössere Kästen eingesetzt werden, dass jene eine horizontale Lage erhalten.

Ich habe aus oben genannten Gründen schon lange die altgewohnten Kästen verlassen und mir die meinigen so einrichten lassen, dass nicht nur jene unbequemen Glasleisten wegfallen, sondern auch die Uebersicht über sämmtliche Präparate mehr erleichtert und damit eine gewisse Eleganz verbunden wird. Vielleicht darf ich hoffen, manchem Mikroskopiker einen Dienst zu erweisen, wenn ich meine schon in der ersten

Auflage bekannt gegebene Einrichtung auch hier nochmals näher beschreibe [1]).

Die aus starker Pappe gefertigten Kästchen, in denen die Präparate zunächst untergebracht werden, bilden kleine Schränkchen, welche, da meine Objectträger 45 mm lang und 30 mm breit sind, im Lichten eine Länge von 120 mm, eine Tiefe von 35 bis 40 mm und eine Höhe von 80 mm haben. Im Inneren befinden sich 3 Träger *aaa*, welche in der, in der Fig. 245 angedeuteten Weise eingeschnitten sind, so dass jedes


Fig. 245.



Kästchen 24 Präparate aufnehmen kann. (Man könnte allerdings auch mehr, etwa 50 Präparate in einem Kästchen unterbringen; allein ich glaube, dass dadurch die Handlichkeit sowie die Festigkeit leiden würde.) Die Vorderwand des Kästchens bildet eine Klappe und der Verschluss geschieht mittelst eines von oben her etwas über Wände und Klappe greifenden Deckels, der auf seiner Oberseite die allgemeinere Bezeichnung trägt (z. B. Kryptogamen, Lebermoose, Coniferen, Histologie des Holzkörpers etc.). Die speciellere Bezeichnung wird in der in der Figur angedeuteten Weise auf die, innen weiss überklebte Klappe geschrieben. Die Durchmusterung der Präparate ist nun ausserordentlich einfach und kann man sich dieselbe noch erleichtern, wenn man die einzelnen Einschnitte numerirt, und auf der Innenseite der Klappe, zu beiden Seiten der eben erwähnten Aufschrift und neben die gleichen Nummern die nähere Bezeichnung der entsprechenden Präparate hinschreibt.

---

[1]) Aehnliche Kästen sind in verschiedenster Ausstattung und Form von den meisten Präparatenhandlungen, namentlich aber in gediegener Ausführung von Theodor Schröter in Leipzig (Grosse Windmühlenstrasse Nr. 27), welcher Preisverzeichnisse gratis versendet, zu beziehen.

Diese Kästchen kommen nun, zu etwa sechs bis zwölf, aufrechtstehend in einen länglichen Holzkasten, so dass sich die Präparate in horizontaler Lage befinden. Will man sich das Herausnehmen aus den grösseren Kästen erleichtern, so darf man nur zwischen je zwei Kästchen eine bis zur halben Höhe reichende Scheidewand anbringen lassen.

Auch zum Transportiren lassen sich ähnliche, nur kleinere Kästchen verwenden, bei denen die vordere Klappe füglich wegfallen und — während die vierte schmale Seite ebenfalls geschlossen wird — durch einen dieselbe vertretenden, übergreifenden Deckel ersetzt werden kann.

